LEHRBUCH

DER

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

FÜR

ÄRZTE UND STUDIRENDE

VON

Dr. AUGUST FRIEDRICH GÜNTHER,

FORTGESETZT

VON

Dr. OTTO FUNKE,
PRIVATDOCENT DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG.

II. BAND. II. ABTHEILUNG.

LEIPZIG.
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1853.

Vorwort.

Mein verehrter Gönner, Herr Generalstabsarzt Professor Dr. Günther, hat mich mit der Vollendung seines Lehrbuchs der Physiologie beauftragt, nachdem es leider ihm selbst durch eine übermässige Anhäufung der Berufsgeschäfte unmöglich gemacht worden war, sein vortreffliches Werk zum bestimmten Ziele zu führen. Ich habe vielleicht zu kühn, aber gewiss nicht in voreiligem Leichtsinn eine Aufgabe übernommen, deren ausserordentliche Schwierigkeiten so offen zu Tage lagen; es hat eines langen Zuredens, mancher freundlichen Aufmunterung von so mancher gütigen Seite her bedurft, ehe ich mich entschloss, meine schwachen Kräfte auf eine so gefährliche Probe zu stellen. Es galt, das bisher von kräftiger Hand geleitete Schiff mit der anvertrauten Mannschaft zahlreicher Jünger der Physiologie weiter zu steuern durch die bewegte untiefenreiche Fluth unserer Wissenschaft, deren lebendiges Treiben jetzt mehr als je einen erfahrenen, geprüften Piloten erheischt. Es steigt heute diese, morgen jene Lehre gleich einer Woge empor, die eine versinkt und zerrinnt so schnell und bedeutungslos wieder, als sie sich zur Oeffentlichkeit erhob, die andere hält

kräftig ihr Haupt empor und trägt das Schiff sicher über Klippen und Sandbänke zum Ufer. Glänzt auch so mancher Stern erster Grösse an unserem Horizonte, zu dem der Steuermann gläubig als zu seinem Leitstern aufblickt, so konnte ich mir doch nicht verhehlen, dass schon die Kenntniss der Sternkarte einen mit sicherer Erfahrung und gesunder Logik gleich ausgerüsteten Geist erfordert. Ich habe mir klar vor Augen gestellt, was es heisst, heute ein Lehrbuch der Physiologie zu schreiben, heutzutage aus dem bunten Chaos von Wahrheit und Täuschung, von sicheren und irrigen Thatsachen, von wohlgestützten Hypothesen und dreisten Mährchen die Steine zu einem wohlgeordneten Bau auszusuchen und zusammenzufügen, in welchem man den Schüler sicher sich einwohnen heissen kann, so sicher, als dies überhaupt gestattet ist in einer Wissenschaft, welcher Lotze das traurige, zum Glück übertriebene Zeugniss ausstellt: „er habe „längst die statistische Bemerkung gemacht, dass die grossen „positiven Entdeckungen der exacten Physiologie eine durch„schnittliche Lebensdauer von etwa vier Jahren haben". Ich habe mir ferner wohl überlegt, was es heisst, das Werk eines Anderen vollenden, im Geiste eines Anderen weiter zu lehren, zu schreiben, in fremden Plan seine Anschauungen einzupassen. Ich habe mir endlich die speciellen Schwierigkeiten vorgehalten, welche gerade der meiner Bearbeitung anvertraute Theil der Physiologie, insbesondere die Entwickelungsgeschichte, mit sich brachte, Schwierigkeiten, welche theils in der Sache selbst, theils aber auch in dem Umstande liegen, dass meine selbstständige Thätigkeit, meine Experimentaluntersuchungen vorher hauptsächlich anderen Zweigen meiner Disciplin zugewendet waren. Wenn ich allen diesen bewussten Schwierigkeiten zum Trotze die Lösung der Aufgabe versucht habe, so können eben diese

Schwierigkeiten, wie ich wohl weiss, die Kühnheit meines Unternehmens nicht entschuldigen, vielleicht aber, wie ich hoffe, dem Urtheil meiner zu Gericht sitzenden Vorbilder diese und jene Spitze abstumpfen, ihm hier und da einen nachsichtigeren Anstrich geben.

Ich habe meines verehrten Vorgängers Vorrede zum ersten Bande nur Weniges hinzuzufügen. Was das Buch bezweckt, von welchem Gesichtspunkt aus es geschrieben, welche Stellung in der Literatur ihm erbeten wird, ist dort hinreichend erörtert. Was mein Vorgänger gewollt und erstrebt, das musste natürlich auch mein Wille, mein Streben, seine Regeln mir Gesetz sein. Ich habe daher nicht nur seine Eintheilung der gesammten Physiologie, sondern auch seine specielle Eintheilung jedes Kapitels, seine Anordnung der in jedem derselben wiederkehrenden Hauptrubriken beibehalten. Ich habe mich befleissigt, dieselbe übersichtliche klare Darstellungsweise der Thatsachen und Lehrsätze mir anzueignen, habe mich bemüht, bei streitigen Punkten eine historische Uebersicht der wichtigsten Ansichten ohne überflüssige Weitläufigkeit, wohl aber thunlichst mit kritischer Prüfung des Für und Wider, ihrer thatsächlichen Basis, ihrer logischen Berechtigung zu geben. In einem Lexicon darf man verschiedene Ansichten nackt neben einander stellen, dem Anfänger, dem Leser eines Lehrbuchs durfte ich nie die Auswahl überlassen, nie dessen eigener Kritik zu viel vertrauen. Wenn ich in diesem Theil meiner Darstellungen zuweilen etwas ausführlich geworden bin, so habe ich es nicht gethan, um mir das Lob einer fleissigen Compilation zu erhaschen, sondern weil nach meiner Ansicht nichts besser in den Geist einer Wissenschaft einführt, nichts besser dem Anfänger ein eigenes Urtheil heranbildet, nichts sicherer vor dem verderblichen blinden Glauben *in verba magistri*

wahrt, als ein kritisches Abwägen verschiedener Ansichten, die Entwickelung einer Lehre aus solchen vor den Augen des Studirenden. Verdankt doch die Wissenschaft selbst ihre kostbarsten Fortschritte solchen Fehden ihrer Jünger, Fehden in der edleren Bedeutung des Wortes, die wohl von nichtigen Zänkereien um Prioritäten u. s. w. ebenso zu unterscheiden sind, als man eine kritische Betrachtung in einem Lehrbuche nur den Hypothesen im wahren Sinne des Wortes widmen darf, alle die illusorischen Luftschlösser aber, die oft verführerischen Fictionen der Naturmacher, die wie Mehlthau die Blüthen der wahren Physiologie vergiften, verbannen muss. Wie weit mir die Verwerthung dieser Grundsätze im vorliegenden Werk gelungen, muss ich natürlich der Entscheidung Anderer anheim geben; wird mir vielleicht auch hier und da nachgewiesen, dass ich mich in meinem Urtheile geirrt, einer weniger haltbaren Ansicht zu sehr das Wort geredet, einer besseren Unrecht gethan habe, so wird man mir, hoffe ich, diese Sünde leichter vergeben, als wenn ich die widerstreitenden Theorien ohne Kritik nebeneinander aufgezählt hätte.

Noch muss ich einer Pflicht erwähnen, deren möglichste Erfüllung mir bei der Herausgabe dieser Schlussabtheilung oblag. Leider sind nämlich seit dem Erscheinen der ersten Abtheilungen mehrere Jahre verstrichen, welche in der Physiologie, wie in fast allen Naturwissenschaften, manche wichtige Umwälzung, manche werthvolle Bereicherung mit neuen Thatsachen herbeigeführt, manchen festgewurzelten Aberglauben der alten Zeit vertilgt haben, so dass heute Vieles nicht mehr wahr ist, was damals als feststehend galt, viele Lehrsätze gestrichen oder wenigstens umgeformt werden müssen. Ich habe daher in den folgenden Blättern ergänzende und corrigirende Nachträge zu den ersten Abtheilun-

gen liefern müssen, so oft ich mich auf daselbst erörterte Kapitel zu beziehen hatte, welche in dem Interregnum jenen Einfluss der Zeit, der nie gewaltiger war, als im letzten Decennium, erfahren hatten. Ich konnte keine Bewegungslehre schreiben, ohne mich auf die früher abgehandelten Gesetze der Muskelaction zu beziehen; wie Vieles und Wichtiges aber gerade hierbei nachzutragen war, möge ein flüchtiger Vergleich der entsprechenden Abschnitte lehren, ich erinnere nur an die classischen Arbeiten von meinem hochgeschätzten Lehrer Ed. Weber, durch welche die Physiologie erst nach dem Erscheinen des ersten Bandes dieses Lehrbuchs beglückt wurde. Ich war solche Nachträge nicht allein den von mir verfassten Kapiteln, zu deren Verständniss sie unumgänglich waren, schuldig, sondern hoffe damit auch den früheren Theilen einen Dienst geleistet, sie dem heutigen Standpunkte der Wissenschaft näher gebracht zu haben, von dem sie die Zeit trotz ihrer damaligen Vortrefflichkeit nothwendig etwas entfernt hatte.

Für die Physiologie der Sinne erhielt ich noch einen kurzen Entwurf im Manuscript von Herrn Generalstabsarzt Günther, und verdanke dieser trefflichen Grundlage manchen Anhaltpunkt bei der Bearbeitung des fraglichen Kapitels. Die beiden ersten dieser Abtheilung beigefügten Tafeln erhielt ich bereits gedruckt mit diesem Entwurf. Ich glaubte indessen die darin enthaltenen Abbildungen für die Lehre von den Sinnen noch beträchtlich vermehren zu müssen durch in den Text gedruckte, meist schematische Holzschnitte. Auch für die späteren Kapitel habe ich die von mir für nothwendig erachteten Zeichnungen möglichst so auf Holzschnitt und Lithographie zu vertheilen gesucht, wie es mir für das Verständniss am geeignetsten, für die Handhabung am bequemsten erschien.

Ich kann schliesslich dieser Abtheilung des Lehrbuches, die meinen Namen an der Stirn trägt, keinen besseren Wunsch mit auf den Weg geben, als dass sie ihren Vorgängern würdig zur Seite stehen, und von der Theilnahme, deren letztere sich zu erfreuen hatten, einen kleinen Theil auch auf sich ziehen möge, damit dem Ganzen der Wirkungskreis zu Theil werde, der in den Wünschen seiner beiden Verfasser liegen muss.

Leipzig, im December 1852.

Dr. O. Funke.

2. Animale Sphäre.

Sechstes Kapitel.

Allgemeines.

§. 74.

Die mittlere oder animale Sphäre organischer Thätigkeiten des Menschen umfasst alle diejenigen Lebenserscheinungen, die sich auf die Wahrnehmung der Aussenwelt oder Empfindung und Gegenwirkung auf dieselbe oder auf Bewegung beziehen. Da diese Erscheinungen nur der Thierwelt, nicht der Pflanzenwelt eigen sind, so nennt man die ihnen zu Grunde liegenden Thätigkeiten auch animale oder thierische Functionen. Diese beziehen sich also nicht auf eine materielle Wechselwirkung, auf Aufnahme und Ausgabe von Stoffen, wie bei den vegetativen Functionen, sondern auf das Wahrnehmen von Eindrücken und Veränderungen, welche die Aussenwelt auf unsern Körper, besonders auf dessen Nervensystem macht und auf die Mittel, das relative Verhältniss des Organismus zur Aussenwelt oder diese selbst zu verändern, oder auf das Vermögen auf die empfangenen Eindrücke zu reagiren d. i. sich zu bewegen. Zur Erfüllung des erstern Zweckes, der Empfindung oder Wahrnehmung, sind dem von der Peripherie nach dem Centrum leitenden Theile des Nervensystems gewisse Apparate, gleichsam Vorbaue beigegeben, welche sich zum Nervensystem verhalten, wie die Verdauungsorgane zu dem Gefässsysteme. Dieselben verarbeiten die Eindrücke der Aussenwelt in der diesen eigenthümlich entsprechenden Art so, dass diese für das Nervensystem erst wahrnehmbar werden, d. h. die äusseren Eindrücke, z. B. Schwingungen werden so verändert und geleitet,

dass nun erst der betreffende Nerv sie aufnehmen und dem Centralorgane zuführen kann. Man nennt diese Apparate Sinnesorgane und zählt deren bekanntlich fünf, zu denen noch das allgemein verbreitete Gefühl hinzukommt.

Die Bewegung kann ebenso wenig, wie die Wahrnehmung durch das Nervensystem allein vermittelt werden, sondern es sind den von dem Centrum nach der Peripherie leitenden Nerven die Muskeln beigegeben, welche durch ihre im allgemeinen Theile erörterten Zusammenziehungen die Lage der Knochen und dadurch das Verhalten zur Aussenwelt, ja diese selbst verändern.

Alle Empfindung und Bewegung beruht demnach auf der Thätigkeit des Nervensystems und der Hülfsorgane desselben; das Nervensystem ist der eigentliche Träger und Vermittler des animalen Lebens, und wenn das Nervensystem auf Säftebewegung, Ernährung, Absonderung und Aussonderung einwirkt, so geschieht dieses wohl kaum durch eine unmittelbare, der chemischen Action zu vergleichende Einwirkung auf die Säfte, als vielmehr durch bewusstloses Empfinden und willenloses Bewegen der die Behälter der Säfte, (Blutgefässe, Drüsenschläuche etc.) bildenden contractilen Fasern.

Zu der mikroskopischen Anatomie der Nerven haben wir hier Folgendes zu dem im ersten Theile Gesagten nachzutragen.

Die centralen Schlingen der Nervenprimitivcylinder in dem Sinne, in dem wir sie früher annahmen, sind sehr zweifelhaft geworden. Dass die Schlingen wirklich existiren, darüber ist kein Zweifel, nur darin, dass sie die Vereinigung einer central und einer peripherisch leitenden Nervenröhre seien, liegt der wahrscheinliche Irrthum. Da man bis jetzt nirgends eine frei endigende Primitivröhre gesehen hat, dagegen wohl Ganglienkugeln kennt, die mit Primitivcylindern zusammenhängen, so ist man ziemlich allgemein geneigt, anzunehmen, dass der Ursprung aller Nervenfasern, sowohl sensibler, als motorischer von den im Gehirn vorhandenen Körperchen der grauen Substanz abzuleiten sei. Doch ist auch dieses nur Annahme, keineswegs erwiesene Thatsache. Jene Schlingen würden demnach nur dem Laufe der Fasern im Gehirn angehören.

Die peripherischen Endumbiegungen haben in der neueren Zeit auch ihre frühere Wichtigkeit verloren; man ist mit mehr kritischem Blick an die Untersuchung gegangen, hat das oft Gesehene

nochmals und wiederholt betrachtet und so zwar die Plexus der Nervencylinder gegen die peripherischen Enden hin immer wieder gefunden, allein man kann sie nicht mehr als die wahren Enden ansehen, in denen eine Nervenfaser rückläufig werde. Obgleich Jones[1]) diese Nervenschlingen an den Gefässnerven der Leber und Ecker sie wiederum an den Gehörnerven beobachtet hat, so schliesst diese Beobachtung ebenso wie die früheren die Möglichkeit einer anderen Endigungsweise der Primitivnerven nicht aus, wie ja schon die Pacinischen Körperchen lehren. Schon Henle und Volkmann hatten aus theoretischen Gründen die Bedeutung der Schlingen als letzte Endigung der Nerven bestritten, auch Engel[2]) läugnete die Endschlingen und nahm dafür feinzugespitzte oder kolbige Endigungen der Nervenprimitivcylinder an, bis Rud. Wagner[3]) nach dem Vorgange des Paolo Savi, die dichotome Theilung der bisher für nicht weiter theilbar gehaltenen Primitivcylinder des Nervensystems in dem electrischen Organe des Zitterrochens beobachtete. Nach dieser Beobachtung findet in dem genannten Organe eine vorgängige Schlingenbildung gar nicht statt, vielmehr verlieren sich die letzten Markfasern, von $\frac{1}{800}$ — $\frac{1}{1000}$''', nach mehrfacher dichotomer Theilung der ganzen Nervenfaser und des Axencylinders in dem Parenchym des Organs. Dieselbe Art der Nervenendigung sahen ferner in den Muskeln Gerlach[4]), Ecker[5]), Koelliker[6]), Czermak[7]) u. A. Dieselbe Theilung der Primitivröhren bemerkte ferner Stannius nicht an den peripherischen Enden der Nerven, sondern an deren Aesten und Zweigen bei Fischen.

Ueber die Structur der Nervenganglien hatten wir früher die Beobachtung mitgetheilt, dass ein Theil der mit diesen Gebilden zusammenhängenden Nervencylinder nur durch sie hindurch gehe, im anderen Theil aber mit den Ganglienkugeln zusammenhänge, (vergl. I. Bd. Tab. III. Fig. 7). Engel, Volkmann und Koelliker nebst R. Wagner haben diesen Zusammenhang weiter verfolgt und aufgeklärt. Das Verhältniss der Nervencylinder zu den Ganglienkugeln ist darnach folgendes; entweder entspringt der Cylinder aus der

---

1) Jones in Canstatt. Jahresbericht, 1848. I. Bd. p. 43. — 2) Engel, Zeitschrift der Gesellschaft der Aerzte zu Wien. IV. Jahrg. 5. Hft. p. 305. — 3) R. Wagner. Neue Untersuchungen über den Bau und die Endigungen der Nerven. Leipzig 1847 und im Handwörterb. III. 1. Abtheilung. p. 360. — 4) Gerlach, Hdbch. der allg. und spec. Geweblehre. p. 107. — 5) Ecker, eben da, als Notiz. — 6) Koelliker. Mikroskop. Anat. II. p. 24, 125, 244. u. A. — 7) Czermak. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie von v. Siebold, II, Hft. 1.

Ganglienkugel, oder diese erscheint als eine blasige Anschwellung des Nervencylinders in Mitten seines Laufes. (Vergl. II. Taf. II. Fig.) Nach dem jetzigen Stand der Wissenschaft würde man also annehmen, dass die Nervencylinder weder in den Centralorganen noch an der Peripherie in der Art Schlingen bilden, dass der eine Schenkel der Schlinge in einen central leitenden, der andere Schenkel in einen peripherich leitenden Nervencylinder übergehe, vielmehr ist es wahrscheinlich, dass das centrale Ende eines Nervencylinders mit einem oder mehrern Nervenkörpern als seinen Wurzelstellen in Verbindung stehe, während das peripherische Ende entweder in ein Pacinisches Körperchen übergeht, oder sich mehrmals gabelförmig spaltet, um sich mit seinen letzten Enden in den Geweben der Theile zu verlieren. An vielen Stellen bilden die Nerven vor ihrer letzten Theilung einige Schlingen, plexusartige Verbindungen benachbarter Nerven, um dann erst jene Theilung der Primitivcylinder vorzunehmen.

Nach diesen angegebenen Entdeckungen der anatomischen Verhältnisse der Nervenprimitivcylinder können wir nicht mehr an der Theorie einer cyclischen Strömung in den Nerven festhalten, müssen die Cylinder vielmehr und vorzüglich als Leiter, zum Theil auch als Erreger des Nervenprincipes, wie es I. p. 455 auseinander gesetzt worden ist, ansehen.

Siebentes Kapitel.

Empfindung und Sinnesthätigkeit.

§. 75.

Empfindung und Sinnesthätigkeit sind wesentlich nicht verschieden und von der einfachsten Empfindung einer mechanischen Veränderung in den Verhältnissen unseres Hautorgans bis zu der Wahrnehmung des unendlich entfernten Lichtes durch das Auge geht eine Stufenleiter, in immer höherer, oder doch complicirterer Entwickelung des Apparates zur eigenthümlichen Veränderung der Aussenwelt, um sie für die Nerven empfindbar zu machen, wie wir weiter unten genauer auseinandersetzen werden.

Die einfache Empfindung ist die Wahrnehmung der Ver-

änderung der Nerven, welche durch absolut oder relativ äussere Dinge veranlasst worden ist. Dieselbe würde uns aber kaum eine dunkle Vorstellung von den Dingen in uns hervorbringen, wenn nicht die übrigen Sinnesempfindungen stets erweiternd und berichtigend eingriffen.

Ein Mensch, der nie seine Sinnesorgane hätte brauchen können, würde bei der Verletzung mit einer Nadel, Messer, Verbrennung, spanischen Fliege etc. immer nur die Empfindung einer Verletzung, Schmerz haben, ohne die Qualität des verletzenden Dinges nur im Entferntesten angeben zu können, gerade so wie der Kranke die Ursachen der im Unterleibe empfundenen Schmerzen nicht näher kennt, weil er nie durch die andern Sinne die veranlassende Ursache wahrgenommen und den Schluss auf die Wirkung gemacht hat. Diese Empfindungen werden theils zum Bewusstsein gebracht, theils nicht. Die bewusste Empfindung wird durch die Cerebrospinalnerven vermittelt und in der Regel folgt bewusste und willkührliche Bewegung darauf. Die unbewusste Empfindung wird durch das sympathische Geflecht vermittelt und gewöhnlich folgt unwillkührliche und unbewusste Bewegung darauf, Reflexbewegungen und einige associirte Bewegungen, z. B. die unbewusste Empfindung durch die Nerven des Magens beim Eintritt der Speisen und darauf folgende peristaltische Bewegung.

Zu jeder richtigen, scharfen Empfindung ist nöthig 1) normaler, unverletzter Verlauf der Nerven von ihrer peripherischen bis zu ihrer centralen Endigung. 2) An der Peripherie Zerfallen des Nerven in seine Primitivcylinder (und deren Endäste). 3) Verbreitung dieser Cylinder auf einer weichen Unterlage. 4) Schutz und Bedeckung dieser Cylinder gegen fremdartige, ihnen nicht entsprechende Einflüsse. 5) Die Anwesenheit von eigenthümlichen nach der Art der aufzunehmenden Eindrücke verschiedenen Hülfsapparaten, welche die leichtere und sichere Verbreitung der Eindrücke zu den Nervenenden und die leichtere Perception durch dieselben vermitteln.

1) Der erste dieser Sätze ergiebt sich aus dem im ersten Bande Gesagten von selbst.

2) Zerfallen der Nerven in ihre Primitivcylinder an der

Peripherie. Ueberall, wo Empfindung stattfinden soll und kann, sehen wir dieses Gesetz befolgt, nur nachdem der Nerv sich in seine Cylinder aufgelöset hat, kann er deutliche Empfindungen aufnehmen; so lange er noch in grossen Bündeln und Strängen zusammenliegt, können, wegen der gleichzeitigen Reizung mehrerer oder vieler Cylinder, nur verworrene, undeutliche Empfindungen möglich sein, da ja jeder Cylinder, wie wir früher gesehen haben, einen bestimmten Punkt der Peripherie in den Centralorganen repräsentirt.

3) Verbreitung dieser Cylinder auf einer weichen Unterlage. Wir finden diesen Satz nicht allein bei allen Sinnesorganen, (selbst beim Geruch, die Schneidersche Haut ist dick und weich), sondern auch bei allen gemeinen Empfindungsnerven befolgt. Damit hängt auch zusammen, dass

4) und 5) diese entwickelten Cylinder noch einen Schutz, eine Decke haben, sei diese nun ein besonderes Gewebe, ein besonderer Apparat, wie bei den meisten Sinnesorganen, oder eine Schicht der etwa vorhandenen Haut mit ihrer Epidermis, wie in den Empfindungspapillen der Haut und den Geschmackswärzchen der Zunge; die dieses Schutzes beraubten Nervencylinder bringen nur Schmerz zur Wahrnehmung. Diese Schutzorgane sind bei den meisten Sinnen zugleich die genannten Hülfsapparate, welche die Perception der äusseren Eindrücke vermitteln und erleichtern, indem sie dieselben zu den empfindenden Nervenenden fortpflanzen und auf sie übertragen.

Von der Sinnesthätigkeit.

§. 76.

Die Wichtigkeit der Sinnesorgane ist so bekannt, dass Jeder, dem nur Eins derselben fehlt, im gemeinen Leben schon als ein Unglücklicher bezeichnet wird. Die Sinne sind die einzigen Wege, auf denen wir die Aussenwelt in uns aufnehmen, wir überhaupt unsere Kenntnisse und geistige Entwickelung fördern können.

Die fünf gewöhnlich angenommenen Sinne scheinen allen möglichen Qualitäten der Aussenwelt zu entsprechen, und man

kann sie demnach verschieden ordnen. Den mechanischen Verhältnissen im Allgemeinen entspricht das Getast, den chemischen Verhältnissen der Luft der Geruch, denen der Flüssigkeiten der Geschmack, den Schwingungen der Luft das Gehör, denen der Lichtmaterie das Gesicht.

Dass der Gefühls- oder Tastsinn ausser den räumlichen Verhältnissen auch noch Temperatur und Gewicht wahrnimmt, liegt darin, dass er eben die einfachste allgemeinste, nur mit geringen Modificationen aus dem allgemeinen Gefühl hervorgegangene Sinnesthätigkeit ist, die noch wenig Eigenthümliches hat.

Wir sehen ferner eine Stufenfolge von der Wahrnehmung der Verhältnisse des Festen, durch das Flüssige, das Luftförmige bis zu dem Aether, durch Getast, Geruch, Gehör, Geschmack und Gesicht.

Eine ähnliche Reihenfolge führt aus der Wahrnehmung des unmittelbar Nahen zu dem Entferntern durch Getast und Geschmack, Geruch und Gehör bis zu dem unendlich Entfernten durch das Gesicht, so dass bei dieser Reihenfolge der Kreis der Wahrnehmung sich immer mehr und mehr erweitert.

Von den Sinnen im Speciellen.

§. 77.

Vom Tastsinn.

Der Tastsinn ist ein verfeinertes, an gewisse mit willkührlicher Bewegung versehene Organe gebundenes Gefühl, durch welches wir erstens von den räumlichen Verhältnissen, also der Gestalt der Dinge, der Beschaffenheit ihrer Oberflächen, so wie von der Art ihres Cohäsionszustandes unterrichtet werden. Wir erfahren daher durch den Tastsinn nicht nur, ob ein Körper rund oder eckig, rauh oder glatt ist, sondern auch ob er fest oder weich, elastisch oder nicht elastisch ist. Wir sind ferner im Stande, mittelst des Tastsinnes auch ohne Hülfe des Gesichtsinnes uns eine Vorstellung von der Grösse des betasteten Gegenstandes zu machen; bewegen wir einen Theil unseres

Tastorganes auf der Oberfläche eines Gegenstandes hin, so erhalten wir eine continuirliche Reihe von Eindrücken, von denen am Tastorgan selbst einer den andern ablöst; im Gedächtniss erhält sich aber die ganze Reihe dieser Eindrücke, wir sind uns am Ende der Tastoperation der Zahl dieser Eindrücke, d. i. des Umfangs der Bewegung des Tastorgans bewusst, und summiren mit Hülfe der Imagination die gesammten Eindrücke zu einer Vorstellung von der räumlichen Beschaffenheit des geprüften Gegenstandes. Dass wir auch das Gewicht der Körper mit Hülfe des Tastsinns bestimmen, werden wir unten sehen.

Der Tastsinn hat ferner die Aufgabe, thermische Einflüsse äusserer Dinge aufzunehmen und zu den Centralorganen des Bewusstseins zu leiten. Berühren wir mit unserer Haut, besonders mit den zum Tasten geeignetsten Stellen derselben einen Körper, so fühlen wir, ob derselbe warm oder kalt ist, d. h. ob er wärmer oder kälter ist als unser Tastorgan selbst; die Eigenwärme desselben ist gleichsam der Nullpunkt der Wärmeempfindungsscala. Es ist endlich der Tastsinn zur Aufnahme gewisser chemischer Einflüsse, insbesondere der ätzenden bestimmt.

§. 78.

Entwicklung in der Thierreihe.

Der Tastsinn als der niedrigste und einfachste, zugleich aber für die wichtigsten thierischen Verrichtungen unentbehrlichste Sinn, ist daher durch das ganze Thierreich verbreitet. Der Sitz desselben muss nothwendig an den äusseren Bedeckungen des Körpers sein, es ist daher die Haut im Allgemeinen als Tastorgan zu betrachten. Bei den wenigsten Thieren indessen ist die ganze Oberfläche der Haut gleichmässig zu Tastoperationen geeignet, sondern zu diesem Zwecke meist besondere Stellen derselben eingerichtet, indem an denselben entweder eine grössere Anzahl sensibler Nervenenden unter einer dünnen nachgiebigeren Hautdecke, oder besondere Organe, Verlängerungen der Haut meist beweglich angebracht sind, welche letztere theils unmittelbar die Tastverrichtungen ausüben und daher weich und nervenreich sind, oder mittelbar nach Art der Sonden tasten,

und dann hart und nervenfrei, aber mit ihrer Basis an eine nervenreiche Stelle eingefügt sind, wie die Tasthaare und selbst die Zähne. Die Feinheit des Tastsinnes ist bei verschiedenen Thieren je nach ihren Bedürfnissen verschieden, bei den meisten und namentlich bei den Thieren der niederen Classen jedenfalls ausserordentlich gross, wie uns theils die Betrachtung ihrer Tastwerkzeuge, theils die Produkte ihrer Tastoperationen, von denen wir nur das feine Netz einer Spinne nennen, überzeugen müssen.

Schon bei den Infusorien ist die Gegenwart des Tastsinnes sehr wahrscheinlich, wenn wir auch nicht bestimmte Körpertheile als Tastorgane mit Sicherheit bezeichnen können, möglicherweise sind die bei vielen dieser Thiere wahrzunehmenden Cilien u. s. w., welche gewöhnlich als Bewegungsorgane dargestellt werden, zugleich Tastorgane. Bei den Polypen ist der Sitz des Tastsinnes entschieden in ihren mannigfach gestalteten Armen zu suchen; eben weil dieselben zum Greifen und Zuführen der Nahrung zum Verdauungsapparat dienen, müssen sie mit Tastfähigkeit zur Unterscheidung der zu wählenden Nahrung begabt sein. Ebenso ist bei den Echinodermen der Tastsinn meist auf bestimmte Verlängerungen der Haut concentrirt, welche bald als weiche Tentakeln erscheinen, bald nach Art der Tasthaare (Sonden) dienen, wie die stachlichen zum Theil beweglich eingelenkten harten Fortsätze an den Sceletten mancher Thiere dieser Classe. Auch die Mollusken sind grösstentheils mit besonderen Tastorganen versehen, obwohl dieselben nebenbei auch für andere Verrichtungen zum Theil bestimmt sind; wir erwähnen nur bei den Acephalen den Fuss und die zum Theil mit besonderen Verlängerungen versehenen Mantelränder, die Tastfäden der Cephalopoden, die Fühler der Gasteropoden. Bei den Würmern treten die gesonderten Tastapparate wieder mehr zurück; bei den meisten dient die gesammte weiche contractile Haut, besonders an den vorderen Körperenden als Tastorgan, während wir bei einigen den Tastsinn auch wieder in bestimmte Hautausläufer von verschiedener Gestalt verlegt finden, zu denen z. B. der sogenannte Rüssel, d. i. der hervorstülpbare Oesophagus und die Borsten der Haut

mancher dieser Thiere gehören. Die mannigfaltigsten und wunderbarsten Tasteinrichtungen finden wir bei den nun folgenden höheren Classen der wirbellosen Thiere, den Crustaceen, Arachniden und besonders den Insekten. Hier treffen wir Organe, welche lediglich dem Tastsinn gewidmet sind, andere, welche neben anderen Verrichtungen zum Tasten gebraucht werden. Zu ersteren gehören vor allen Dingen die Antennen in ihren unendlich verschiedenen Formen, welche wir bei fast allen Thieren dieser Classen, ausser den Arachniden und einigen Krebsen, finden, und nächst diesen die Palpen, welche besonders zum Betasten der aufzunehmenden Nahrung bestimmt sind. Bei vielen Insekten dient im letztgenannten Sinne auch die Spitze des Saugrüssels als Tastorgan, und ist zu diesem Zwecke ebenso wie die Palpen zum Theil mit erhabenen Wärzchen oder anderen Verlängerungen versehen. Auch die Begattungswerkzeuge mancher in diese Classen gehöriger Thiere scheinen zu Tastverrichtungen brauchbar zu sein, so die empfindlichen Legestachel; bei den höheren Crustaceen werden mit Recht die sogenannten Beikiefer ebenfalls als Tastorgane betrachtet. Endlich sind auch die eigentlichen Beine bei vielen Arthropoden sicher zum Tasten bestimmt, wie am besten die Verwendung derselben bei den Arachniden zum Weben der feinen regelmässigen Netze lehrt. Da, wo diese Tastorgane im Gegensatz zu den panzerartigen Bedeckungen des übrigen Körpers durch eine weiche, dünne Haut ausgezeichnet sind, nehmen sie unmittelbar Tasteindrücke auf, wo sie dagegen ebenfalls eine hornartige Schaale haben, leiten sie wenigstens mittelbar wie Sonden jene Eindrücke zu nervenreichen empfindlichen Stellen.

Bei den Wirbelthieren fehlen besondere lediglich dem Tastsinn gewidmete Organe fast gänzlich; es ist aber auch bei ihnen derselbe nicht gleichmässig auf die ganze Hautfläche vertheilt, sondern auf bestimmte Stellen beschränkt, um so mehr, je dicker und härter die Oberhaut, je mehr dieselbe mit Schuppen, Federn, dichten Haaren u. s. w. besetzt ist. Die Stelle, welche bei der grossen Mehrzahl der Sitz des Tastsinns ist, liegt in der Nähe des Mundes oder in dessen Theilen selbst; die Extremitäten sind nur bei den wenigsten Wirbelthieren zum Tasten

tauglich, um so weniger, je härter ihre Bedeckung, je unvollkommner und unbeweglicher ihre Endglieder, wie die Hufe eines Pferdes, oder gar die Flossen der Fische. Bei den letzteren finden wir regelmässig, während der ganze Körper mit einem Schuppenpanzer bedeckt ist, die Umgebung der Lippen und diese selbst so weich, dass sie als Tastorgan dienen; bei vielen sind an dieser Stelle sogar besondere Tastapparate in Form weicher, faden- oder wurmförmiger, meist beweglicher Organe vorhanden. Auch die nackten Amphibien gebrauchen, trotz der Weichheit und Empfindlichkeit der ganzen Oberhaut, hauptsächlich doch ihre Lippen und Zunge als Tastorgane, es scheinen indessen bei ihnen auch die weichen beweglichen Zehen diesen Dienst verrichten zu können; die beschuppten Amphibien sind lediglich auf die Lippen und insbesondere auf die Zunge angewiesen; die letztere ist daher bei ihnen in hohem Grade beweglich und hervorstreckbar, wie besonders bei den Schlangen und manchen Sauriern. Das Haupttastorgan der Vögel ist der Schnabel, wenige bedienen sich auch der Füsse zum Tasten, die vorderen Extremitäten (Flügel) und die ganze mit Federn bedeckte Oberhaut sind dazu begreiflicherweise völlig untauglich; der Schnabel ist daher bei denjenigen Vögeln, welche ihren Tastsinn am meisten gebrauchen, (bei den Sumpfvögeln und Schwimmvögeln) mit weichen Rändern versehen; einige Vögel, wie z. B. die Papageien tasten mit der Zunge.

Bei den Säugethieren, d. h. bei einer grossen Anzahl von ihnen, treffen wir wieder auf sondenartige, den Antennen der Insekten vergleichbare Tastorgane, welche in der Nähe des Mundes angebracht sind, das sind die zum Theil beweglichen, an ihrer Wurzel von zahlreichen feinen Nervenenden umgebenen Tasthaare der Cetaceen, Wiederkäuer, Dickhäuter, Nager und Fleischfresser. Indessen ist kein Säugethier lediglich auf die Tasthaare angewiesen, welche durch ihre mittelbare Wirkung doch immer unvollkommene Sinnesorgane sind, ebenso wie wir mit Hülfe von Sonden weit weniger fein zu tasten im Stande sind, als mit unsern unbewaffneten feinfühlenden Fingerspitzen. Bei der grossen Mehrzahl der Säugethiere sind daher, wie bei

den vorhergehenden Classen, die Lippen und zum Theil die Zunge zu empfindlichen Tastorganen eingerichtet; es bedarf keiner besonderen Erläuterung, dass die Wiederkäuer mit ihrer beweglichen Oberlippe und ihrer Zunge, die Einhufer, wie die Pferde, mit ihren Lippenrändern, der Elephant mit seinem langen Rüssel tastet.

Die Extremitäten, insbesondere die vorderen, erlangen nur bei wenigen Säugethieren die Bedeutung von Tastorganen; dass alle mit harten Hufen versehenen Füsse kein feines Tastgefühl besitzen können, versteht sich von selbst; wo dagegen weiche empfindliche Zehenballen vorhanden sind, wie bei den Raubthieren, werden dieselben auch zum Tasten neben den schon beschriebenen Organen verwendet. Der Affe, welcher überhaupt in jeder Beziehung dem Menschen so nahe steht, besitzt in den Endgliedern seiner Extremitäten ein sehr vollkommnes Tastorgan nach dem Typus des vollkommensten Tastorgans, der vielgliedrigen, freibeweglichen, mit zarter nervenreicher Haut bekleideten menschlichen Hand.

§. 79.

Die Anatomie der menschlichen Tastorgane müssen wir theils aus der descriptiven Anatomie als bekannt voraussetzen, theils haben wir die wichtigsten histologischen Eigenthümlichkeiten derselben bereits im ersten Bande dieses Werkes auseinander gesetzt, die Beweglichkeit und die Bewegungsmodi derselben, ohne welche sie zum Tasten ebenso unbrauchbar wären, als die unbewegliche Hand zum Greifen, werden bei der Lehre von der Bewegung weiter unten erörtert werden. Wir wissen, dass es die letzten Endigungen der sensitiven Nerven in der Haut sind, welche die Tasteindrücke aufnehmen, und haben deren Bau und Verlauf in der Haut beschrieben; wir kennen ferner die histologischen Elemente der Haut, haben aber hier noch Einiges über den Bau der Haut, soweit er ihre Tastverrichtungen angeht, nachzutragen.

Bisher hat man fast allgemein angenommen, dass dem Tastsinn ein specifisches Sinnesorgan, wie es der Gesichtssinn in dem complicirten Bau des Auges hat, mangele, oder vielmehr,

dass die gesammte Oberhaut und insbesondere deren an den tastenden Theilen hervortretende Erhabenheiten, die Tastwärzchen, die Stelle des Sinnesorganes vertreten; dass aber die Enden der Tastnerven selbst ohne weiteren zur erleichterten Perception der Tasteindrücke bestimmten Apparat nackt unter der Epidermis liegen. Die einmal aufgetauchte Vermuthung, dass die Pacini'schen Körperchen, in welchen allerdings Hautnervenfäden endigen, Tastorgane seien, fand keine Anhänger, aus dem einfachen Grunde, weil die Mehrzahl dieser Körperchen im Innern des Körpers an Theilen liegt, welche keine Spur von Tastsinn haben, z. B. zwischen den Platten des Mesenteriums, an den Unterleibsgeflechten des Sympathicus u. s. w.; weil ferner selbst an den Hautnerven der Hand jene Gebilde so gelagert sind, dass eine solche Function höchst unwahrscheinlich wird.

Dagegen beschrieb R. Wagner [1]) ganz neuerdings an den wirklichen feinsten Endigungen der Tastnerven in den Hautpapillen eigenthümliche Bildungen, welche er Tastkörperchen nannte und für die eigentlichen Sinnesorgane des Tastsinns erklärte. Er fand, dass im Innern jeder Papille der Volarseite der Hand und besonders der letzten Fingerglieder, welche Nervenendäste erhält, wie ein Kern ein kleines tannenzapfenförmiges Körperchen von $\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{15}'''$ Länge und $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{40}'''$ Breite sitze, an dessen Basis 1—3 Nervenendästchen sich stielartig ansetzen. Diese Tastkörperchen bestehen nach Wagner aus sehr kleinen sack- oder bandförmigen, horizontal über einander gelagerten Schichten, welche zusammen ein beerenartiges Gebilde formiren; die feinen Endfibrillen der Nerven biegen sich häufig hirtenstabförmig im Innern des Körperchens um, verlieren dann plötzlich ihre dunklen Contouren und scheinen rund zu endigen; aus diesem scheinbaren Ende tritt aber der Achsencylinder als schmaler blasser Fortsatz heraus und löst sich in feine büschelförmige Aestchen auf. Zwischen den bandartigen Schichten der Körperchen liegen in querer Richtung zahlreiche dunkle spindelförmige Kerne, die ganzen Tastkör-

1) R. Wagner, Nachr. d. Goett. Ges. d. W. 1852. No. 2. p. 17.

perchen sind von dem streifigen granulirten Ueberzug der Tastwärzchen umgeben. Wagner glaubt sich ferner überzeugt zu haben, dass alle die Hautpapillen, welche Nervenenden und Tastkörperchen besitzen, nie Gefässschlingen enthalten, und umgedreht, dass also zweierlei Arten von Papillen, Nervenpapillen und Gefässpapillen zu unterscheiden seien, welche in verschiedenen relativen Mengen in der Haut vertheilt seien, an den Fingerspitzen z. B. alterniren, während im Handteller z.B. nur eine Nervenpapille auf 10—20 Gefässpapillen komme.

Koelliker [1]) hat mit grosser Sorgfalt Wagner's Untersuchungen wiederholt und ist dabei zu etwas abweichenden Resultaten gelangt. Er unterscheidet an den Hautpapillen eine Rindenlage und einen Achsenstrang, welcher letztere Wagner's Tastkörperchen entspricht, aber nicht aus über einandergelagerten Schichten, sondern aus einem Strange von homogenem Bindegewebe besteht, und von aussen von einer Lage spindelförmiger oder zu elastischen Fasern ausgezogener, zum Theil unter einander communicirender Kerne umsponnen wird. Diese Achsenkörper fand Koelliker nur in den Papillen der Handfläche, der Lippen und der Zunge, spurweise an den Fusssohlen, und stimmt mit Wagner darin überein, dass nur die mit solchen Achsenkörpern versehenen Papillen dunkelcontourirte Nervenfibrillen besitzen, während er dagegen sehr häufig neben den Achsenkörpern Gefässe gefunden haben will; die dunkelrandigen Nervenfibrillen verlaufen nach ihm neben, nicht in dem Achsenkörper bis zur Spitze, indem sie ihr Neurilem verlieren und jenen häufig spiralig umwinden.

Es ist schwierig über diese Verhältnisse zu einer sichern Entscheidung zu gelangen, namentlich, worauf es in Bezug auf die hier vorliegende Frage am meisten ankommt, die Art und Weise der letzten Endigung jener feinen Nervenfibrillen in der Achse der Papille genau zu erforschen. So viel scheint uns sicher, möge die histologische Construction dieses Achsenkörpers oder Tastkörperchens sein, wie sie Koelliker oder wie sie Wagner beschreibt, es bildet dieser Theil jedenfalls ein

1) Koelliker Zeitschr. für wiss. Zool. IV. (1852) p. 43.

weiches elastisches Bett für die zur Aufnahme der Tasteindrücke bestimmten Nervenenden, und eignet sich als solches ganz vorzüglich, jeden auf die äussere Oberfläche der Papillen wirkenden Druck den Nervenenden zuzuleiten und mitzutheilen, ebenso wie entsprechende physikalische Apparate, die wir unten kennen lernen werden, die Mittheilung der Schallwellen an die Enden der Hörnerven vermitteln und erleichtern. Man kann daher füglich diese Theile der Haut, die Achsenkörper der Tastwärzchen, als Hülfsapparate für den Tastsinn, als Tastorgane betrachten.

Auch die Frage nach dem Centralorgan, in welchem die von der Peripherie durch die sensitiven Nerven zugeleiteten Tasteindrücke zum Bewusstsein gelangen, können wir heutzutage noch nicht mit hinreichender Schärfe beantworten. Nur die Pathologie giebt uns wenige Erfahrungen an die Hand, nach denen wir wenigstens ungefähr die Gegend der Nervencentra bestimmen können, welche jene Eindrücke zum Bewusstsein bringt. E. H. Weber [1]) hat eine Reihe sehr sorgfältiger Untersuchungen hierüber an solchen Personen angestellt, welche durch Bluterguss in gewisse Theile des Gehirns halbseitig gelähmt, und zugleich ihres Tastvermögens mehr oder weniger verlustig waren; es stellte sich heraus, dass bei Bluterguss in die Gegend des Sehhügels, des gestreiften Körpers und der angränzenden Hemisphärentheile einer Gehirnhälfte, das Empfindungsvermögen der entgegengesetzten Körperhälfte in den Extremitäten und Rumpftheilen geschwächt oder verschwunden war, während nur die zur Bewegung der betreffenden Extremitäten, nicht aber die zur Bewegung der Rumpftheile bestimmten Muskeln gelähmt waren. Weber schliesst daraus, dass an dem genannten Ort des Blutergusses im Gehirn die Hautnerven der ganzen (entgegengesetzten) Körperhälfte nahe zusammenliegen, und zugleich die Bewegungsnerven der Tastorgane, der Extremitäten, während die Bewegungsnerven der

1) E. H. Weber, der Tastsinn und das Gemeingefühl. Wagner's Wörtb. d. Phys. 3. Bd. 2. Abth. p. 517.

Rumpfmuskeln die Tastnerven nicht bis in das Gehirn begleiten, sondern tiefer in der *Medulla oblongata* ihr Centrum haben. Ob nun in den genannten Hirntheilen wirklich das Centrum der Tastnerven ist, oder ob sie an dieser Stelle nur vereinigt, aber noch auf dem Wege zum Centrum sind, und durch den Druck des Blutes an jener Stelle nur ihr Leitungsvermögen zum Centrum unterbrochen wird, lässt sich aus diesen Thatsachen nicht entscheiden. Weber ist geneigt, das Letztere anzunehmen.

§. 80.

Die ganze Oberfläche unseres Körpers ist zu Gefühlsempfindungen geeignet, einmal weil alle Theile derselben mit sensitiven Nerven versorgt werden, zweitens weil die gleichmässig weiche Beschaffenheit unserer gesammten Haut sich zur Aufnahme und leichten Fortpflanzung von Gefühlseindrücken zu den Nervenenden eignet. Dennoch sind nur wenige Theile unseres Körpers als Tastorgane zu betrachten; und zwar sind es zweierlei Eigenschaften, welche dieselben dazu machen: erstens der relativ bei weitem grössere Nervenreichthum, die grössere Menge der in der Flächeneinheit endenden Nervenprimitivfasern, zweitens die vollkommnere Beweglichkeit, durch welche sie sich vor allen anderen Körpertheilen auszeichnen. Es sind diese bevorzugten Organe die Fingerspitzen, die Lippen und die Zunge.

Je reicher eine Hautfläche von bestimmter Grösse an sensitiven Nervenfasern ist, desto feiner ist ihr Tastsinn, d. h. desto näher an einander können zwei gleichzeitig, aber getrennt von einander auf die Haut wirkende Eindrücke (Wärme, Kälte oder Druck) angebracht werden, um noch gesondert empfunden zu werden (s. Bd. I. p. 458). Berühren wir mit den zwei Spitzen eines geöffneten Zirkels unsere Haut, so empfinden wir zwei Eindrücke, empfinden die Grösse des Abstands der beiden Spitzen, und die Richtung einer sie verbindenden Linie. Nähern wir nun die beiden Zirkelspitzen allmälig einander, so kommen wir zu einer gewissen Grösse ihres Abstandes, bei welcher wir ihre Eindrücke nicht mehr gesondert, sondern nur einen ein-

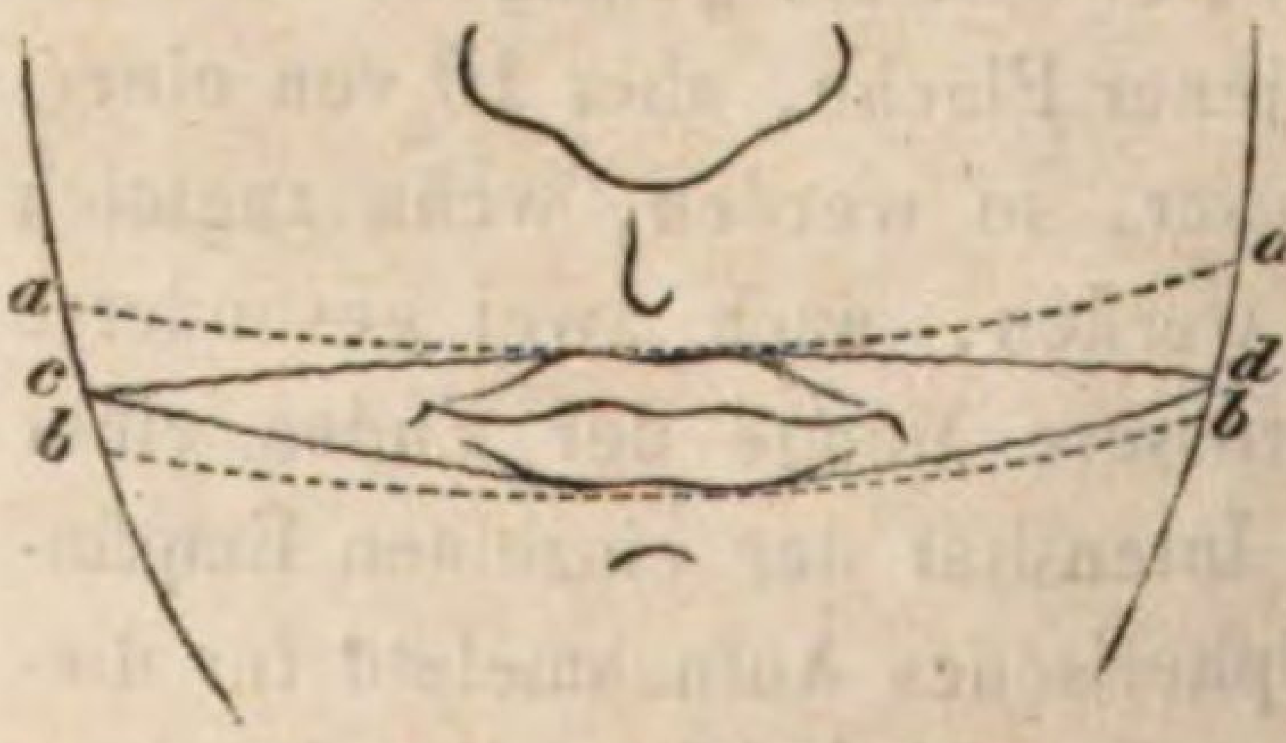
fachen Eindruck empfinden. Der von diesem Spitzenabstand umgränzte Raum kann dann nicht mehr zwei Apparate zur Aufnahme der Eindrücke besitzen, deren jeder auch wirklich gesondert in dem Centralorgan vertreten ist, mit andern Worten, es können in dieser Provinz nur die Enden einer Nervenprimitivfaser vorhanden sein. Je mehr wir die Zirkelspitzen einander nähern können, ohne dass die Empfindungen zu einer einzigen verschmelzen, desto reicher, bei je grösserem Abstand diese Verschmelzung erfolgt, desto ärmer ist die untersuchte Hautparthie an gesonderten Tastnerven, desto feiner oder unvollkommner ist ihr Tastsinn. Wir müssen ausdrücklich hervorheben, dass das feinere Unterscheidungsvermögen der Tastflächen für gesonderte Eindrücke nicht von der Zahl der letzten, durch Theilung der Primitivfibrillen gebildeten, mit Tastkörperchen versehenen Nervenenden, sondern lediglich von der Zahl der durch diese Enden repräsentirten Primitivfibrillen abhängig ist. Denken wir uns eine Quadratlinie Haut mit 50 Nervenenden versehen, welche aber alle von einer und derselben Primitivfaser entspringen, so mögen noch so viele dieser Enden zugleich von gesonderten Einwirkungen gereizt werden, es wird doch nur ein einfacher Eindruck zum Bewusstsein gelangen; sind dagegen nur 20 Nervenenden in jener Fläche, aber 10 von einer, 10 von einer zweiten Primitivfaser, so werden, wenn zugleich Enden beider Fasern gereizt werden, auch zwei gesonderte Eindrücke empfunden. Die grössere Menge der Enden einer Faser bedingt nur die grössere Intensität der einzelnen Empfindung, ein ausgebreiteteres peripherisches Aufnahmefeld für dieselbe. Als Individuen der Tastorgane sind daher die einzelnen Primitivfasern, nicht aber die einzelnen Enden oder Tastkörperchen zu betrachten. — E. H. Weber [1]) hat uns durch seine meisterhaften Forschungen gelehrt, die relative Feinheit unseres Tastsinns, in so fern er sich als Ortssinn äussert, in verschiedenen Theilen des Körpers mit Hülfe jener oben beschriebenen

---

1) E. H. Weber, *De pulsu, resorptione, auditu et tactu annot. anat. et phys. Lipsiae* 1834. p. 149. — Wagner's Hdw. d. Phys. a. a. O. p. 525.

einfachen Anwendung eines Zirkels zu prüfen, und hat bereits selbst die Tastfähigkeit der ganzen Körperoberfläche auf diese Weise hinreichend untersucht.

Das Grundexperiment, durch welches sich Jeder leicht von dem Gesagten überzeugen kann, ist folgendes: Berührt man mit dem etwa $\frac{3}{4}''$ geöffneten Zirkel die Haut vor dem Ohrläppchen so, dass die Zirkelspitzen senkrecht über einander stehen, so empfindet man nur einen Eindruck, und glaubt höchstens wahrzunehmen, dass der Eindruck ein länglicher mit senkrechter Längsachse sei; bewegt man nun den Zirkel mit gleichbleibender Oeffnung quer über das Gesicht nach dem Mund zu, so scheinen, je weiter sich der Zirkel dem Mund nähert, desto mehr die Zirkelspitzen sich von einander zu entfernen, desto deutlicher werden zwei von einander gesonderte Eindrücke empfunden. Den weitesten Abstand der Zirkelspitzen empfindet man, wenn dieselben die Mitte der Ober- und Unterlippe berühren; bewegt man den Zirkel sodann über die Mitte hinaus nach dem entgegengesetzten Ohr zu, so nähern sich in der Empfindung die Zirkelspitzen wieder, bis in der Gegend des Ohrs die Eindrücke wieder zu einem einzigen verschmelzen. In beistehender Figur bezeichnen die Linien aa und bb die wirklichen Bahnen der beiden Zirkelspitzen über das Gesicht weg, die von c auslaufenden in d wieder zusammenlaufenden Bogen dagegen die scheinbaren Bahnen, wie sie uns in der Empfindung erscheinen. In analoger Weise scheinen sich die Zirkelspitzen von einander zu entfernen, wenn wir sie quer am Unterarm aufsetzen und allmälig nach der Spitze des Mittelfingers zu bewegen; ebenso wenn wir sie von der Zungenwurzel in der Mittellinie nach der Zungenspitze zuführen.



Weber nimmt diesen Thatsachen zufolge an, dass die Haut in Empfindungskreise getheilt sei, d. h. in Abtheilungen, deren jede von einer sensitiven Nervenfibrille versorgt wird Fallen die Berührungspunkte der Zirkelspitzen beide innerhalb

der Gränzen eines einzigen Empfindungskreises, so ist der Eindruck ein einfacher, fallen sie auf zwei neben einander liegende Empfindungskreise, so fangen wir an einen doppelten Eindruck zu empfinden, der Abstand der Spitzen dünkt uns aber noch sehr gering, er erscheint uns um so grösser, je mehr Empfindungskreise zwischen den beiden berührten Empfindungskreisen liegen. Daraus folgt unmittelbar, dass die Empfindungskreise, wie auch die anatomische Nervenausbreitung bestätigt, an verschiedenen Stellen verschiedenen Umfang haben, dass sie um so grösser sein müssen, bei je grösserem Abstand der Zirkelspitzen der Eindruck noch ein einfacher ist, um so kleiner, bei je geringerem Abstand der Eindruck schon ein doppelter ist; es müssen also gleich grosse Hautflächen um so mehr und um so kleinere Empfindungskreise besitzen, je feiner ihr Ortssinn, ihr Unterscheidungsvermögen für gesonderte Eindrücke. Nach obigem Experiment kann daher der Längsdurchmesser eines Empfindungskreises von dem Ohrläppchen nicht kleiner sein, als der Abstand der Zirkelspitzen von $\frac{3}{4}''$, während auf den Lippen bereits eine grössere Anzahl von Empfindungskreisen zwischen den $\frac{3}{4}''$ von einander entfernten Spitzen liegt. Aus dem Umstand, dass an verschiedenen Hautstellen die Grösse des Abstandes, bei welchem der Eindruck ein einfacher wird, verschieden ist je nach der Richtung, in welcher der Zirkel aufgesetzt wird, folgert Weber, dass die Durchmesser der Empfindungskreise in verschiedenen Richtungen verschieden gross, ihre Gestalt bald mehr länglich, bald mehr rund ist.

Die relative Grösse der Empfindungskreise an verschiedenen Stellen der Haut, mithin die Feinheit des Ortssinns in denselben lässt sich unmittelbar messen, indem wir, wie E. H. Weber gethan hat, für jede Hautstelle die Minimalgrösse des Zirkelspitzenabstandes bestimmen, welche nöthig ist, um zwei gesonderte (oder wenigstens einen länglichen) Eindrücke zu empfinden. Je kleiner dieser Abstand, desto kleiner die Empfindungskreise, desto feiner der Tastsinn. Wir theilen die wichtigsten Resultate der von Weber in diesem Sinne angestellten Messungen hier nochmals mit, obwohl sie bereits im ersten Bande erwähnt sind.

Der Minimalabstand der Zirkelspitzen, bei welchem wir noch einen doppelten Eindruck empfinden, beträgt:

An der Zungenspitze	½	Par. Lin.
An der Volarseite des letzten Fingergliedes . . .	1	- -
An den Lippen	2	- -
An der Volarseite des zweiten Fingergliedes . . .	2	- -
An der Dorsalseite des letzten Fingergliedes . . .	3	- -
An der Nasenspitze	3	- -
Auf der Mitte des Zungenrückens 1″ von der Spitze	4	- -
An der Plantarseite des letzten Gliedes der grossen Zehe	5	- -
An den Backen und der äussern Oberfläche des Augenlides	5	- -
An der Mitte des harten Gaumens	6	- -
An der Haut auf dem vordern Theile des Jochbeins .	7	- -
An der Dorsalseite des ersten Fingergliedes	7	- -
An der Innenseite der Lippen	9	- -
Am hintern Theil des Jochbeins	10	- -
Am untern Theil der Stirn	10	- -
Auf der Ferse	10	- -
Auf dem Handrücken	14	- -
Auf dem Scheitel	15	- -
Auf dem Glutäus	18	- -
Auf Unterarm, Unterschenkel und Fussrücken . .	18	- -
Auf dem Brustbein	20	- -
Auf dem Rücken	24–30	- -
Auf Oberarm und Oberschenkel	30	- -

Aus diesen Messungen ergiebt sich, dass der feinste Tastsinn, in so fern er sich als Ortssinn äussert, an der Zungenspitze und demnächst an der Volarseite der Fingerspitzen, und den Lippen vorhanden ist, dass derselbe am unausgebildetsten ist am grössten Theil des Rumpfes, am Oberarm, Unter- und Oberschenkel. Es sind daher durch die Feinheit des Ortssinns zu Tastorganen nur geeignet die erstgenannten Körpertheile; eben dieselben sind es auch, bei welchen das zweite Moment, von welchem die Feinheit des Tastsinnes abhängig ist, die Beweglichkeit am ausgebildetsten ist.

Je beweglicher ein mit feinem Empfindungsvermögen begabter Theil ist, desto geeigneter ist er zu Tastoperationen. Denken wir uns einen unserer Körpertheile, welcher vermöge des geringen Umfanges seiner Empfindungskreise einen sehr feinen Ortssinn besitzt, also z. B. die Fingerspitzen oder selbst die Zunge vollkommen unbeweglich,

so würden wir durch die von demselben aufgenommenen Tastempfindungen nur wenig Kenntniss über Form und Gestalt, Cohäsion u. s. w. der uns umgebenden Körper erlangen. Brächten wir mit demselben z. B. die vierseitige Endfläche eines beliebigen Gegenstandes in Berührung, so würden wir die Gestalt derselben aus den Tastempfindungen bestimmen können, vorausgesetzt, dass eben die Fläche zugleich mit allen Punkten die Tastfläche berührte; wir würden aber natürlich diese Gestalt nicht angeben können, wenn die Fläche des Körpers die Tastfläche an Umfang überträfe, wir würden ferner, wenn diese Berührung unbeweglich wäre, nichts über den Festigkeits- und Elasticitätsgrad jenes Gegenstandes erfahren; noch weniger könnten wir natürlich das Verhältniss der berührten Fläche zu den übrigen Flächen des Körpers, d. h. seine Gestalt überhaupt errathen. Denken wir uns nun die Tastfläche immer noch unbeweglich, aber den zu betastenden Gegenstand beweglich, und successiv mit allen seinen Punkten mit dem tastenden Theil in Berührung gebracht, so werden wir zwar in so fern mehr erfahren, als unter den ersteren Bedingungen, als wir die Gestalt aller der einzelnen Flächen, welche nach einander einen Eindruck auf die Tastnerven machen, kennen lernen, allein wir werden noch keinen Begriff von dem gegenseitigen Verhältniss der einzelnen Flächen, von ihrer Lage am ganzen Körper, von der Gestalt des letzteren erhalten. Denken wir uns z. B. eine Kugeloberfläche an der unbeweglichen Fingerspitze so hinbewegt, dass allmälig alle Punkte der ersteren mit letzterer in Berührung gewesen sind, so werden wir nach vollendeter Operation nur wissen, dass eine Menge gleichartiger Punkte nach einander die Fingerspitze berührt haben, werden aber diese Eindrücke nicht zu einem Begriff von der Kugelgestalt der Oberfläche summiren können. Anders verhält sich aber die Sache, wenn, wie es in der Wirklichkeit der Fall ist, unsere Tastorgane selbst willkührlich beweglich sind, wenn wir uns eine Vorstellung von der Grösse und der Richtung, in welcher wir das Tastorgan bewegen, machen können. Die Beweglichkeit ist den Tastorganen durch ihre natürliche Einrichtung gegeben, und zwar den oben genannten feinfühlenden Theilen eine sehr vollkommne,

das Vorstellungsvermögen von der Art der Bewegungen haben wir uns dagegen erst angelernt, und zwar, wie E. H. Weber [1]) hervorgehoben hat, durch die Bewegung eines Theiles unserer Tastorgane an einem andern. Bewegen wir z. B. die Fingerspitze der einen Hand auf der Volarfläche der andern, so empfindet theils die Fingerspitze die successiv mit ihr in Berührung kommenden Theile der Handfläche, theils erhalten die verschiedenen auf der Bahn der Fingerspitze neben einander liegenden Theile der Handfläche successiv den Eindruck der Fingerspitze; d. h. wir empfinden die Bahn der Fingerspitze auf der Handfläche, und lernen zugleich, welche Anstrengungen (der bewegenden Muskeln) die Fingerspitze machen muss, um diese bestimmte Bahn zu beschreiben. Auf diese Weise haben wir es durch Uebung dahin gebracht, dass wir einerseits wissen, welche Anstrengungen wir machen müssen, um unser Tastorgan, die Fingerspitze, in bestimmter Richtung eine bestimmte Strecke weit zu bewegen, und umgedreht, wenn wir eine beliebige Bewegung ausführen, uns der Richtung und Grösse derselben bewusst werden. Wir haben ferner auf diese Weise erlangt, dass wir uns stets von der gegenseitigen Lage unserer einzelnen Tastorgane, von ihrem Abstand von einander bewusst sind, indem wir die Grösse und Art der Anstrengung kennen gelernt haben, welche wir machen müssen, um beide Theile in diese Lage, in diesen Abstand zu bringen. Der Nutzen dieser Beweglichkeit und unserer Kenntnisse über die Art derselben für das Tasten ist leicht einzusehen. Indem wir unsere Tastflächen an der Oberfläche der zu prüfenden Körper hinbewegen, bekommen wir einen Begriff von der Grösse, der Form, der Oberflächenbeschaffenheit des ganzen Körpers. Bewegen wir eine Fingerspitze um eine Kugel herum zunächst in einer Richtung, so werden wir uns bewusst, dass diese Bewegung eine kreisförmige, wie gross der beschriebene Kreis war, bewegen wir sie in anderen Richtungen um dieselbe Kugel, und werden uns überall derselben Kreisform, derselben Grösse der Kreisbewegung bewusst, so sind wir eben im Stande, den Begriff der

---

1) E. H. Weber a. a. O. p. 541.

Kugelform des geprüften Gegenstandes aus den empfundenen Tasteindrücken zu construiren. Bewegen wir die Fingerspitze auf einer ebenen Fläche hin, so erhalten wir successiv eine Anzahl glatter oder rauher Eindrücke, während uns die Art der Anstrengung lehrt, dass wir die Fingerspitze in einer und derselben Ebene, wie weit wir sie in derselben bewegt haben. Berühren wir mit der einen Fingerspitze (Zeigefinger) einen Punkt eines Körpers, z. B. das eine Ende eines Stäbchens, mit der andern Fingerspitze (Daumen) das andere Ende, so erhalten wir einen Begriff von dem Abstand der beiden Enden, von der Länge des Stäbchens, weil wir uns der gegenseitigen Lage, des Abstands der beiden Fingerspitzen bewusst sind, weil wir die Grösse der Anstrengung kennen, welche wir machen müssten, um mit einer Fingerspitze den Weg bis zu der andern zu beschreiben. Es braucht kaum hinzugefügt zu werden, dass wir durch Uebung unsern Tastsinn in Bezug auf Unterscheidung von Form und Grösse der Gegenstände ausserordentlich schärfen können, dass wir es dahin bringen können, die geringsten Abweichungen einer berührten Fläche von der Ebene, die Grösse ihrer Krümmung, die feinsten Nuancen in der Beschaffenheit ihrer Oberfläche zu erkennen, sehr geringe Grössendifferenzen, die geringsten Härtedifferenzen zweier Körper zu unterscheiden. Wir erinnern beispielsweise daran, dass manche Menschen im Stande sind, bis auf die feinsten Nuancen die verschiedene Feinheit der Seidenfäden in verschiedenen Geweben zu erkennen, durch den Tastsinn die Unterschiede in der Concavität zweier verschiedener Brillengläser herauszufinden.

Hier müssen wir noch einer Eigenthümlichkeit des Tastsinnes gedenken, welche von wesentlichem Einfluss auf die Art der wahrzunehmenden Empfindung ist, auf welche Valentin [1]) neuerdings aufmerksam gemacht und durch sorgfältige Untersuchungen erläutert hat. Denken wir uns auf dem Rande einer kreisförmigen Scheibe radialgestellte längliche Zähne von gewisser Breite in gewissen geringen Abständen von einander

---

1) Valentin, über die Dauer der Tasteindrücke; Arch. für phys. Hlk. XI. Jahrg. 1852. p. 438.

aufsitzend, so werden wir, wenn wir die Fingerspitze langsam auf der Zahnfläche hinbewegen, deutlich jeden Zahn, seine Breite, die Grösse des Abstandes je zweier Zähne unterscheiden, die successiv mit der tastenden Fläche in Berührung kommen; bewegen wir aber den Finger sehr schnell über diese Zahnfläche hin, so werden wir nur den Eindruck einer mehr oder weniger rauhen Fläche erhalten, ohne die einzelnen Zähne, geschweige ihre Breite und ihren Abstand deutlich unterscheiden zu können. Bei einer gewissen sehr grossen Geschwindigkeit der Tastbewegung endlich wird der zahnige Besatz der betasteten Fläche nicht einmal mehr durch das Gefühl der Rauhigkeit sich kund geben, sondern die Fläche wird den Eindruck einer glatten selbst vollkommen polirten machen. Valentin stellte den Versuch umgekehrt an, indem er mittelst eines Uhrwerks die beschriebene Scheibe mit beliebiger Schnelligkeit um eine Achse sich drehen lassen konnte und nun die Fingerspitze unbeweglich gegen den Zahnrand hielt; bei langsamer Umdrehung der Scheibe wurde jeder unter der Tastfläche weggleitende Zahn deutlich empfunden, je rascher die Umdrehung erfolgte, desto mehr verwischten sich die einzelnen Eindrücke, die Zahnfläche erschien dem tastenden Finger allmälig rauh, wollig, glatt, und endlich vollkommen polirt. Eine der beschriebenen völlig gleiche Erscheinung ist sehr bekannt; legen wir die Fingerspitze auf die Randfläche eines Schleifrades von körnigem Sandstein, so erscheint uns dieselbe bei langsamer Umdrehung rauh, je schneller wir aber drehen, um so glätter.

Die Ursache dieser Erscheinung beruht darauf, dass jeder auf einen Tastnerven gemachte Eindruck eine Empfindung von gewisser Dauer erregt. Die Empfindung eines Eindrucks von momentaner Dauer verschwindet nicht gleichzeitig mit dem Aufhören des Eindrucks, sondern überdauert den letzteren um eine merkliche, wenn auch sehr geringe Zeit. Eine analoge Erscheinung werden wir später bei anderen Sinnen kennen lernen; ebenso überdauert die Lichtempfindung die Lichteinwirkung auf die Netzhaut. Um zwei auf einander folgende, dieselbe Stelle des Tastorgans, also dieselben Tastnerven

treffenden Eindrücke gesondert von einander zu empfinden, ist es nöthig, dass zwischen beiden eine gewisse Zeit verfliesst, welche grösser ist, als die Nachdauer des ersten Eindrucks, wir haben also hier eine ganz entsprechende zeitliche Bedingung für die gesonderte Auffassung zweier auf einander folgender Tasteindrücke, wie wir oben eine gewisse Entfernung als räumliche Bedingung für die gesonderte Auffassung zweier gleichzeitiger Eindrücke kennen gelernt haben. Dreht sich die oben beschriebene Tastscheibe so langsam, dass die Zeit, welche zwischen der Berührung zweier neben einander stehender aber getrennter Zähne mit der berührenden Fingerspitze verfliesst, grösser ist, als die Dauer der Nachempfindung des ersten Zahneindrucks, so werden wir die beiden Zähne gesondert fühlen; dreht sie sich dagegen so rasch, dass die Nachempfindung des ersten Zahneindrucks noch nicht vorüber ist, wenn schon der zweite eintritt, so müssen beide Empfindungen ohne Unterbrechung mit einander verschmelzen, sich gleichsam theilweise decken, und mithin die gesonderte Auffassung der einzelnen Zähne verloren gehn.

Valentin hat dieses Grundexperiment verschieden modificirt, und die Modificationen der Erscheinung unter verschiedenen Umständen, den Einfluss des Fingerdrucks, des Zustandes der Fingerspitze, der Stimmung der Tastnerven u. s. w. sehr genau geprüft. Wir führen nur die allerwichtigsten Ergebnisse dieser Versuche an. So empfindet man die Zähne der Scheibe noch bei etwas grösserer Geschwindigkeit ihrer Umdrehung gesondert, wenn man etwas stärker mit dem Finger drückt (natürlich, wenn man die durch den Druck verursachte Verzögerung der Scheibe abrechnet), als bei leiser Berührung. Es ergab sich ferner, dass die Dauer der Nachempfindung nicht an allen Stellen der Fingerspitze gleich gross ist, dass die Dauer derselben etwas wächst, wenn man die Fingerspitze vor dem Versuch sehr lange in Wasser gebadet hat, dass sie dagegen abnimmt (das Gefühl der Glätte auch bei grossen Umdrehungsgeschwindigkeiten gar nicht zu Stande kommt), wenn zwischen dem Finger und der Tastscheibe eine feste Zwischenschicht (dünnes Oelpapier) sich befindet; ebenso wenn der Finger vor dem Versuche einige Zeit in Kalilauge getränkt wird; dass sie etwas beträchtlicher ist, wenn die berührende Fingerstelle mit junger glatter Epidermis, wie sie sich auf Wunden bildet, bedeckt ist; dass sie sehr bedeutend zunimmt, wenn man durch Umschnüren des Fingers ober-

halb der Spitze in letzterer eine beträchliche Blutstockung erzeugt, ebenso im Zustand der Aethernarkose.

Wenn schon an verschiedenen Stellen derselben Fingerspitze die Dauer der Nachempfindung nicht gleich gross ist, so werden sich vielleicht noch beträchtlichere Differenzen bei Vergleichung anderer mit weniger feinem Tastsinn begabter Körpertheile herausstellen; ob an allen den Stellen, an welchen die räumliche Auffassung gesonderter Eindrücke am unvollkommensten ist, auch die zeitliche Auffassung derselben entsprechend stumpfer ist, lässt sich *a priori* nicht entscheiden.

Dass die Zeitdauer einer solchen Tastnachempfindung verschwindend klein ist, und daher auch das Verschmelzen zweier sich folgender Eindrücke zu einer Empfindung nur bei sehr grosser Geschwindigkeit dieser Aufeinanderfolge eintritt, folgt schon aus Valentin's directen Versuchen, wird aber aus folgender Betrachtung noch anschaulicher. Legen wir unsere Fingerspitze an einen tönenden Körper, z. B. an eine schwingende Saite, oder an den resonirenden Boden eines Claviers, so unterscheiden wir bei gewisser Intensität des Tons deutlich die einzelnen Stösse, die einzelnen Schwingungen, welche den Ton bilden; wir unterscheiden sie mit dem Finger gesondert selbst bei sehr hohen Tönen, also bei sehr grosser Schnelligkeit ihrer Aufeinanderfolge, während im Gehör diese einzelnen Stösse, auch bei sehr langsamer Aufeinanderfolge noch, zur Empfindung eines continuirlichen Tones verschmelzen.

Schlage ich auf dem Clavier das tiefe Contra C an, und lege dann die Fingerspitze an die schwingende Saite, so empfinde ich auf das deutlichste deren einzelne Schwingungen, gehe ich von da an die Scala aufwärts, so empfinde ich diese gesonderten Eindrücke immer schwächer, aber noch deutlich beim , von da an aber habe ich beim Berühren der Saite nur noch eine einfache Empfindung. Die Abnahme der gesonderten Empfindung bei diesem Experiment erzeugt ganz ähnliche Gefühle, wie sie Valentin von der Tastscheibe bei wachsender Umdrehungsgeschwindigkeit beschreibt. Während die Empfindung an den tiefen Saiten eine rauhe genannt werden kann, geht sie bei den höheren Tönen in eine wollige und endlich in eine glatte über.

§. 81.

Wir haben bei unseren bisherigen Betrachtungen des Tastsinnes immer nur die eine Aeusserung desselben, welche sich auf die Wahrnehmung der räumlichen Verhältnisse der betasteten Gegenstände bezieht, im Auge gehabt. Schon in der Einleitung aber haben wir vorausgeschickt, dass der Tastsinn uns ausserdem noch über zwei andere Qualitäten der Dinge, über ihr Gewicht und ihre Temperatur Aufschluss giebt. Was die Gewichtsbestimmung betrifft, so führen wir dieselbe nur selten ausschliesslich durch den Tastsinn aus, weil wir auch für diese Operation, wie für räumliche Bestimmungen, ein wesentliches Unterstützungsmittel des Tastsinns in dem Gebrauch unserer Muskeln haben. Härte oder Weichheit eines Körpers erkennen wir an dem Grade von Widerstand, welchen derselbe der Zusammendrückung durch unser Tastorgan leistet, oder an dem Grade von Muskelanstrengung, mit dem wir das Tastorgan gegen denselben drücken müssen, um ihn zu comprimiren. Legen wir einen schweren Körper auf eine Tastfläche, welche unterstützt ist, so schätzen wir das Gewicht desselben aus dem Grade von Druck, welchen derselbe auf die Tastfläche ausübt, aus der Intensität der Kraft, mit welchem derselbe das Tastorgan zusammenzudrücken strebt. Legen wir auf dieselbe Tastfläche nach einander zwei Körper von verschiedenem Gewicht, so bestimmen wir aus dem grösseren oder geringeren von ihnen auf die Haut ausgeübten Druck, welcher schwerer ist. Interessant ist dabei die genaue Aufbewahrung einer Druckempfindung im Gedächtniss, indem wir im Stande sind, den Druck des ersten Gewichts, nachdem er schon vorüber ist, aber in der Erinnerung noch fortdauert, mit dem Druck des später aufgelegten Gewichts zu vergleichen, und zwar auf diese Weise Gewichtsdifferenzen genauer unterscheiden, als wenn wir gleichzeitig auf zwei verschiedene Tastflächen die beiden verschiedenen Gewichte auflegen. Je grösser die Differenz der beiden Gewichte, desto längere Zeit kann zwischen dem Auflegen derselben verfliessen, ohne dass sich der Eindruck des ersten soweit im Gedächtniss verwischt, dass wir ihn mit dem zweiten nicht mehr vergleichen können.

Je geringere Gewichtsdifferenzen mit einer Tastfläche noch sicher aufgefasst werden, desto feiner ist ihr Gewichtssinn (Drucksinn E. H. Weber); wir können daher die einzelnen Hautabtheilungen ebenso in einer Scala nach ihrer relativen Empfindlichkeit für Gewichtsunterschiede ordnen, wie wir oben eine Scala derselben nach der relativen Feinheit ihres räumlichen Auffassungsvermögens gewonnen haben. E. H. Weber[1]) hat zu wiederholten Malen erschöpfende Untersuchungen über diesen Punkt angestellt, und gefunden, dass die Fingerspitzen das vollkommenste Tastorgan in Bezug auf Feinheit in der Schätzung der Gewichte sind, dass wir mit denselben noch unter zwei nach einander aufgelegten Gewichten, welche sich zu einander wie 29 : 30 verhalten, das schwerere zu unterscheiden vermögen, während auf die Haut des Unterarms aufgelegte Gewichte im günstigsten Falle noch unterschieden werden, wenn sie sich wie 20 : 18,2, auf der Stirn, wenn sie sich wie 20 : 18,7 verhalten.

Es versteht sich von selbst, dass das absolute Gewicht der zur Vergleichung verwendeten Gewichte nicht gleichgültig ist, dass wir z. B. mit den Fingerspitzen leichter 29,0 von 30,0 gr. als 0,29 von 0,30 gr. unterscheiden werden.

Es geht aus den genannten Zahlen hervor, dass wir zwar mit den Fingern noch feinere Druckgrade unterscheiden können als mit der Unterarmhaut, dass aber der Unterschied zwischen beiden Theilen bei weitem nicht so beträchtlich ist, als wir ihn oben für die Feinheit in der räumlichen Auffassung kennen gelernt haben, wo wir in den Fingerspitzen einen etwa 9—18 mal feinern Ortssinn als in der Haut des Unterarms fanden. Ein und dasselbe Gewicht, auf verschiedene Hautstellen gelegt, erscheint bald schwerer bald leichter; auf den Fingern schwerer als auf dem Unterarm, schwerer als auf der Stirn, mit einem Wort schwerer an den Hautstellen, welche für den Druck empfindlicher sind, welche geringere Druckdifferenzen zweier Gewichte noch aufzufassen vermögen.

Es giebt aber auch Nebenumstände, welche auf Beurtheilung des

1) E. H. Weber, Wagn. Hdw. d. Phys. III, 2. p. 547.

Gewichtes von wesentlichem Einfluss sind, welche selbst bewirken können, dass von zwei nach einander auf dieselbe Hautstelle gelegten verschieden schweren Körpern der schwerere uns leichter, der leichtere uns schwerer erscheint. Hierher gehört die Temperatur der geprüften Objecte: kalte Körper erscheinen uns schwerer als warme Körper. Dies beweist am besten folgendes einfache Experiment von E. H. Weber [1]). Legen wir auf einen Finger (welcher auf dem Tisch aufliegt) eine Kugel von 0° und dann eine doppelt so schwere Kugel von + 30°, so wird uns die schwerere aber wärmere Kugel leichter erscheinen, als die leichtere aber kältere. Die Eindrücke von Kälte und Druck scheinen sich demnach in der Empfindung zu summiren.

In der Regel benutzen wir nicht den Tastsinn allein in der angegebenen Weise, um die Schwere eines Körpers zu prüfen; wir pflegen, wie Jeder weiss, nicht die Hand mit dem Rücken auf den Tisch zu legen, und das zu prüfende Gewicht auf die Volarseite zu stellen, sondern wir suchen uns dadurch ein Urtheil über die Schwere des fraglichen Objects zu machen, dass wir es mit Hülfe einer Muskelanstrengung heben, und nach dem Grad des erforderlichen Kraftaufwands das Gewicht taxiren. Sowie wir uns eine Vorstellung von der Grösse und Richtung der durch gewisse bewusste Muskelanstrengungen hervorgebrachten Bewegungen erworben haben, und dieses Vorstellungsvermögen beim Tasten zur Auffassung der räumlichen Verhältnisse verwenden; ebenso haben wir uns in der Vorstellung eine Kraftscala für die verschiedenen bewussten Grade der Muskelanstrengung gebildet, und schätzen, je nachdem die zur Hebung eines bestimmten Gewichts verwendete Muskelanstrengung höher oder tiefer in dieser ideellen Scala steht, die Grösse des Gewichts. Die directen Untersuchungen E. H. Weber's lehren, dass wir in diesem „Gemeingefühl der Muskeln", in diesem Vorstellungsvermögen von der Intensität der Muskelaction ein feineres Mittel zur Schätzung der Gewichte besitzen, als in dem Tastsinn allein; es folgt aus Weber's Versuchen, dass wir auf diesem Wege noch zwei Gewichte von einander unterscheiden können, welche sich wie 39 : 40 verhalten, wenn die mit dem Tastsinn zu

1) E. H. Weber, a. a. O. p. 512.

unterscheidenden Gewichte im günstigsten Fall sich wie 29 : 30 verhalten. Wir führen diese Gewichtsschätzung der ersten Art auf doppelte Weise aus; entweder heben wir ein Gewicht vom Boden auf, und prüfen die zur Hebung erforderliche Kraft, oder wir lassen das Gewicht an dem ausgestreckten Arm ziehen, und prüfen den zur Aufhebung des Zuges erforderlichen Anstrengungsgrad.

Handelt es sich um die Schätzung kleiner Gewichte, so pflegen wir Tastsinn und Muskelsinn zu verbinden: d. h. wir lassen die Gewichte zugleich auf eine Tastfläche drücken, während wir sie gewöhnlich wiederholt mit Hülfe der Muskeln heben (abwägen).

Es bleibt uns übrig, die dritte wichtige Aeusserung des Tastsinnes, die Wahrnehmung der Temperaturverhältnisse der betasteten Gegenstände, zu erörtern. Es kann keinem Zweifel unterworfen sein, dass dieselben sensitiven Nerven, welchen die Wahrnehmung der räumlichen Verhältnisse und der Druckgrade obliegt, auch zur Auffassung von Kälte- und Wärmeeindrücken bestimmt sind; es beweist dies schon der Umstand, dass im Allgemeinen unter sonst gleichen Bedingungen die nervenreicheren Parthien der Haut, in denen wir Ortssinn und Drucksinn am meisten entwickelt fanden, auch feinfühlender für Temperaturdifferenzen sind, wenn auch die verschiedene Feinheit der Temperaturwahrnehmung in verschiedenen Hautparthien nicht so beträchtliche Schwankungen zeigt, wie die Feinheit des Ortssinns. Welche Einrichtungen aber zur Uebertragung der Temperatureindrücke an die Nervenenden dienen, ob dies dieselben sind, welche für die Eindrücke der ersten beiden Arten als Sinnesorgane zu betrachten sind, ist jetzt nicht zu entscheiden; eben so wenig natürlich, auf welche Weise in den Centraltheilen die specifischen Empfindungen von Wärme und Kälte zu Stande kommen.

Eine der wichtigsten Eigenthümlichkeiten unserer Tastorgane als Thermometer ist, dass der Nullpunkt ihrer Scala keine constante Grösse ist, sondern mit den verschiedenen Graden ihrer Eigenwärme wechselt. Unsere Beurtheilung der Kälte oder Wärme eines Körpers nach

den Tastempfindungen richtet sich darnach, ob der betastete Körper der Haut Wärme entzieht oder Wärme an dieselbe abgiebt, ob er kälter oder wärmer als die Haut selbst in dem Moment der Berührung ist. Haben wir z. B. Wasser von + 15° C vor uns, so wird uns dasselbe beim Eintauchen des Fingers warm erscheinen, wenn unserer Haut aus irgend welchen Gründen weniger Wärme aus den innern Wärmequellen zugeführt, oder durch äussere Einflüsse vorher viel Wärme entzogen war; es wird uns dagegen kalt erscheinen, wenn die Haut des Fingers vorher von innen oder aussen stärker erwärmt war. Haben wir die Temperatur der Fingerhaut, z. B. durch Berührung von Eis stark herabgesetzt und tauchen sie dann in Wasser von 15°, so wird uns dasselbe, wie gesagt, Anfangs warm erscheinen, in dem Maasse aber als die Eigenwärme des Fingers durch die inneren Wärmequellen erhöht wird, nimmt die Wärmeempfindung in dem Wasser ab und geht in Kälteempfindung über, wenn die innere Wärmezuleitung den Grad erreicht hat, dass das Wasser von 15° dem Finger Wärme zu entziehen anfängt. Mit einem Wort der Grad der Eigenwärme der Haut in jedem Moment bildet den Nullpunkt der subjectiven Wärmeempfindungsscala.

Es sind aber noch eine Menge anderer Umstände von wesentlichem Einfluss auf die Beurtheilung der Temperatur der betasteten Gegenstände. Die wichtigsten sind folgende:

1) Die relative Wärmeleitungsfähigkeit der Tastobjecte. Wenn uns ein Körper kalt zu sein scheint, sobald er unserer Haut Wärme entzieht, so erscheint er uns um so kälter, je schneller er derselben gewisse Wärmemengen entzieht, ein je besserer Wärmeleiter er ist, und umgedreht ein warmer Körper um so wärmer, je schneller er aus denselben Gründen Wärme an die Haut abgiebt. Berühren wir eine Eisenstange von + 10° C, so wird uns dieselbe bei weitem kälter erscheinen, als ein Stück Holz von derselben Temperatur.

2) Der Umfang der zur Prüfung der Temperatur verwendeten Hautfläche. Berühren wir die eine Hand mit der Spitze eines eisernen Stabes, während wir auf den andern Handteller eine eiserne Platte von grösserem Umfang auf-

legen, so erscheint uns, obwohl beide Körper ganz gleiche Temperatur haben, die Platte kälter oder wärmer als die Spitze des Stabes; oder tauchen wir in Wasser von bestimmter Temperatur zugleich den Finger der einen Hand und die ganze andere Hand, so erscheint uns warmes Wasser an der ganzen Hand wärmer, kaltes kälter, als an dem einzelnen Finger. Mit anderen Worten, je grösser die tastende Hautfläche, je grösser die Anzahl der gleichzeitig einem Temperatureindrucke ausgesetzten empfindlichen Hauttheilchen, desto intensiver ist die Temperaturempfindung; es scheinen sich demnach die auf die einzelnen empfindlichen Hautpunkte gemachten Wärmeeindrücke in den Centralorganen zu summiren, im Gehirn eine ihrer Zahl proportionale Intensität des Eindruckes hervorzubringen.

3) Die Bewegung der tastenden Haut, oder des betasteten Objects. Dieser Umstand kommt, wie sich leicht einsehen lässt, nur bei der Prüfung der Temperatur gasförmiger oder tropfbarer Flüssigkeiten in Betracht. Tauchen wir eine Hand erst ruhend in eine Flüssigkeit, und bewegen sie sodann in ihr, so wird uns eine kalte Flüssigkeit bei der Bewegung kälter, eine warme wärmer erscheinen als im ruhenden Zustand. Bewegte Luft erscheint unserer Haut kälter als ruhende Luft von gleicher Temperatur. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, dass bei ruhiger Berührung von Haut und Flüssigkeit, die der Haut zunächst liegenden Flüssigkeitstheilchen schnell ihre Temperatur mit der der Haut ausgleichen, bei der Bewegung dagegen immer neue Flüssigkeitstheilchen mit der von der Hauttemperatur verschiedenen Temperatur mit der Haut in Berührung kommen, und daher eine fortdauernde Abgabe oder Aufnahme von Wärme zwischen beiden Partheien unterhalten wird.

4) Die Beschaffenheit der tastenden Hautstelle. Es sind durchaus nicht alle Hautstellen gleich empfänglich für Temperatureindrücke. Die Differenzen, welche die verschiedenen Theile in dieser Beziehung zeigen, stimmen indessen nicht vollkommen weder in Bezug auf Intensität noch auf den Ort mit den Differenzen der Feinheit des Ortssinns und Drucksinns an verschiedenen Stellen überein, aus dem einfachen Grunde, weil

die Temperaturempfänglichkeit einer Hautstelle auch von Umständen abhängt, welche auf die Feinheit der anderen Aeusserungen des Tastsinns nicht von so wesentlichem Einfluss sind. Und zwar scheinen es zwei Hauptbedingungen zu sein, von denen die Feinheit des Temperatursinns abhängt, einmal eine möglichst grosse Zahl für Wärmeeindrücke empfindlicher Punkte, also eine grosse Anzahl von sensiblen Nervenenden, für die es jedoch gleichgültig ist, ob sie von einer oder von vielen Nervenprimitivfasern ausgehen (siehe oben 2.); zweitens eine für schnelle Zuleitung der Wärme oder Kälte zu den Nervenenden geeignete Oberhaut. Es lässt sich freilich noch nicht für alle Theile der Haut, an denen wir erfahrungsmässig einen feineren oder stumpferen Temperatursinn wahrgenommen haben, nachweisen, in wiefern ihre relative Empfindlichkeit von jenen zwei Umständen bedingt ist. Den Einfluss der Oberhautbeschaffenheit, insbesondere ihrer Dicke, auf die Empfänglichkeit der Haut für Temperatureindrücke zeigt am besten folgendes Experiment (E. H. Weber). Taucht man die ganze Hand in sehr kaltes Wasser, so empfindet man zunächst auf dem Handrücken ein Kältegefühl, erst später stellt sich dasselbe in der Hohlhand ein, übertrifft aber bald das am Handrücken empfundene an Intensität. Es folgt daraus, dass eine grössere Empfänglichkeit für Kälteeindrücke der Zeit nach dem Handrücken, der Intensität nach dem Handteller zukommt, die dickere Oberhautbedeckung des letzteren verzögert das Vordringen der Temperaturerniedrigung bis zu den Nervenenden.

E. H. Weber [1]) hat die relative Feinheit des Temperatursinns der einzelnen Hauttheile durch ebenso sorgfältige Experimente wie die Feinheit des Ortssinns festgestellt. Die grösste Wärmeempfindlichkeit besitzt die Haut des Gesichtes, und zwar besonders die Backen, die Augenlider (innerer und äusserer Winkel) und die Zungenspitze, weniger alle in der Mittellinie der äussern Gesichtshaut liegenden Theile, Stirn, Lippen, Nasenspitze, Kinn, die geringste die Schleimhaut der Nase. Den bevorzugten Gesichtstheilen am nächsten stehen wohl die Finger-

1) E. H. Weber, a. a. O. p. 555.

spitzen. Die übrigen Theile des Körpers zeigen in Bezug auf ihren Temperatursinn zwei Eigenthümlichkeiten, erstens dass derselbe wie im Gesicht an allen in der Mittellinie gelegenen Theilen stumpfer als an den seitlichen Hälften ist, zweitens dass oft nahe zusammenliegende Hauttheile sehr verschiedene Empfänglichkeit besitzen, ohne dass sich die näheren Ursachen dieser Differenzen nachweisen lassen. So wechseln schon an der Hand empfindliche mit unempfindlichen Stellen, so ist der Ellenbogen empfindlicher als seine nächste Umgebung.

5) Schliesslich müssen wir noch einer Eigenthümlichkeit des Temperatursinns der Haut gedenken, welche auf die Beurtheilung der Wärme- oder Kältegrade von Einfluss ist. Es ist eine bekannte Erscheinung, dass uns beim Einsteigen in ein kaltes Bad die Wassertemperatur an den Armen und Schenkeln viel kälter als an den Händen, noch kälter aber an dem Rumpf erscheint, obgleich die Feinheit des Temperatursinns der genannten Theile eher eine umgedrehte Temperaturempfindung in denselben vermuthen lassen sollte. Es scheint demnach die Empfänglichkeit für Temperaturveränderungen durch Uebung oder Gewohnheit abgestumpft zu werden, während an den Theilen, welche selten Temperaturveränderungen ausgesetzt werden, plötzliche Veränderungen einen grossen Eindruck hervorrufen. Wir dürfen aber aus dieser Thatsache nicht schliessen, dass der Temperatursinn am Rumpf f e i n e r sei, als an den Händen; sondern nur, dass plötzliche Temperaturerniedrigungen oder Erhöhungen an diesen derselben ungewohnten Theilen u n a n g e n e h m e r empfunden werden; während wir mit den Händen bei weitem g e r i n g e r e T e m p e r a t u r d i f f e r e n z e n noch mit Sicherheit auffassen, als mit den Theilen des Rumpfes.

Zum Theil mag auch die Feinheit der Oberhaut an den bedeckten Körpertheilen und die dadurch bedingte s c h n e l l e Mittheilung von Temperaturveränderungen an die Tastnerven das Gefühl der grösseren Kälte oder Wärme veranlassen. Sind wir längere Zeit im Wasser, so verschwindet die Differenz in den Empfindungen der verschiedenen Theile vollständig.

§. 82.

Wir haben oben den Satz aufgestellt, dass, je nervenreicher eine Hautparthie, desto empfindlicher dieselbe für Tasteindrücke sei. Wir müssen jetzt einige Beschränkungen dieses Satzes nachtragen, insofern es Stellen der äusseren Körperoberfläche giebt, welche zwar einen hohen Grad von Empfindlichkeit in Folge ihres Nervenreichthums besitzen, aber durchaus ungeschickt zum Tasten sind. Hierher gehören vornehmlich gewisse Theile der Geschlechtsorgane, bei denen schon die leisesten Eindrücke eine intensive Empfindung, aber nicht eine solche, wie sie die Finger z. B. nach gewöhnlichen Tasteindrücken fühlen, sondern die specifische Wollustempfindung oder wenigstens das Gefühl des Kitzels hervorrufen. Die *corona glandis* ist sehr nervenreich, nur mit einem dünnen Epithelialüberzug bedeckt, und doch für Tasteindrücke höchst stumpf; trotz der leichten Erregbarkeit ihrer Nerven, welche sich in den lebhaften Reflexbewegungen nach verhältnissmässig schwachen Reizen kund giebt, können wir doch die räumlichen Verhältnisse, oder das Gewicht eines Körpers oder Temperaturdifferenzen nur in äusserst unvollkommener Weise mit diesem Körpertheile wahrnehmen. Aber auch die eigentlichen Tastorgane und alle mit mehr oder weniger stumpfem Tastvermögen begabten Theile können unter Umständen andere von den gewöhnlichen Tastempfindungen ganz verschiedene Empfindungen auf äussere Eindrücke wahrnehmen. Schon diejenigen Eindrücke, welche bei mässigem Grade Tastempfindungen hervorrufen, können bei hohen Graden Schmerz, bei äusserst schwacher Einwirkung Kitzel, Schaudern, Frösteln u. s. w. hervorrufen. So ruft übermässiger Druck ebenso wie übermässige Wärme oder Kälte in allen Tastorganen Schmerz hervor, während z. B. eine äusserst leise Berührung der Lippen, der Hohlhand Kitzel, am Rücken selbst Schaudern und Frösteln erzeugt. An anderen Stellen, welche unvollkommene Tastfähigkeit haben, wie an der Achselhöhle, rufen selbst kräftige Eindrücke heftiges Kitzelgefühl und Reflexbewegungen hervor. Alle diese Empfindungen, insbesondere der Schmerz, sind von den Tastempfindungen

jedenfalls wesentlich, nicht blos dem Grade nach verschieden: sie sind Aeusserungen des Gemeingefühls, welches nicht blos an die Tastorgane gebunden, sondern allen mit Nerven versehenen Körpertheilen eigen ist. In den Tastorganen aber sind diese specifischen Empfindungen jedenfalls an dieselben sensiblen Nerven gebunden, welche die Tasteindrücke aufnehmen; derselbe Nerv kann zum Gehirn den Eindruck einer Tastempfindung, des Schmerzes und des Kitzels leiten; ja er kann gleichzeitig das Gefühl von Schmerz und die Tastempfindung von Wärme oder Kälte vermitteln. Die Art der hervorgerufenen Empfindung hängt lediglich von der Erregungsweise der Nerven ab; Tastempfindung entsteht nur, wenn die mit eigenthümlichen Sinnesorganen versehenen Enden der Nerven unter der Oberhaut durch gewisse äussere Eindrücke von bestimmter Intensität angesprochen werden. Ein mässiger Druck auf die sensiblen Nervenenden der Fingerspitzen erzeugt eine Tastempfindung; ein starker Druck auf dieselben, aber auch auf den Stamm des Ulnarnerven erzeugt Schmerz in den Fingerspitzen. Wenn die *corona glandis* für Tasteindrücke unempfindlich ist, aber sehr leicht Schmerz empfindet, so liegt dies jedenfalls nur daran, dass in diesem Theile die an den Fingern vorhandenen Einrichtungen zur Aufnahme eines Tasteindrucks fehlen, während die zahlreichen unter dünner Oberhaut ausgebreiteten Nervenenden leicht durch äussere Eindrücke in denjenigen Erregungszustand, welcher die Schmerzempfindung bedingt, versetzt werden.

Vom Geschmack.

§. 83.

Unter Geschmack verstehen wir die an die Zunge und zwar besonders den hinteren Theil ihres Rückens gebundene Wahrnehmung der eigenthümlichen nicht näher zu definirenden Eindrücke, welche verschiedene tropfbare Flüssigkeiten oder in der Mundflüssigkeit lösliche Körper, sobald sie mit jenem Theile in Berührung kommen, auf gewisse specifische Nerven desselben machen. Die Qualität der Geschmacksempfindungen lässt sich in Worten nicht umschreiben; wir können keine

Begriffsbestimmung des bittern, süssen, sauern, scharfen Geschmacks u. s. w. geben.

§. 84.

Entwickelung in der Thierreihe.

Obgleich die Auswahl der jeder Gattung und Species zukommenden Nahrung auch bei den Wirbellosen auf das Dasein der Geschmacks- und Geruchsempfindung schliessen lässt, so sind doch nur wenige Familien bekannt, welche nach unsern jetzigen Kenntnissen ein gesondertes Geschmacksorgan besitzen, wie die Cephalopoden, die eine an der Spitze fleischige, weiche am Grunde mit hornigen Platten und Stacheln besetzte Zunge, oder wie die saugenden Insekten, die Bienen, Wespen, Fliegen, welche im Rüssel eine weiche hervorstreckbare Zunge verbergen.

Selbst in den untern Classen der Wirbelthiere ist eine weiche mit Wärzchen versehene, geschmacksfähige Zunge eine seltene Erscheinung, so bei den Fischen, doch kommt an dem Rachengewölbe der Cyprinen ein ganz eigenthümliches, contractiles, mit einem *N. glossopharyngeus* versehenes Organ vor, welches als Geschmacksorgan angesprochen werden kann (E. H. Weber). Bei der grossen Mehrzahl der niederen Wirbelthiere dient die Zunge nur als Tastorgan und zwar als Sonde, wie dies am deutlichsten bei denen hervortritt, deren Zunge mit hartem Ueberzug versehen, aber sehr beweglich, weit hervorstreckbar ist (Schlangen). Unter den Reptilien sind es die Landschildkröten und Iguane, die mit einer weichen, beweglichen und geschmacksfähigen Zunge deutlich begabt sind, denn die übrigen Schildkröten haben eine mit hartem, dickem Epithethelium überzogene Zunge. Bei den Crocodilen ist die Zunge klein und unbeweglich, bei den Schlangen gespalten mit hornigem Epithel bedeckt und bei den Batrachiern endlich zwar weich und selbst von hinten hervorstülpbar, aber wahrscheinlich ohne feinere Geschmacksempfindung, bei mehreren Proteideen und Salamanderarten dagegen klein und wenig beweglich. Obgleich die Spitze an der Zunge der meisten Vögel hornartige

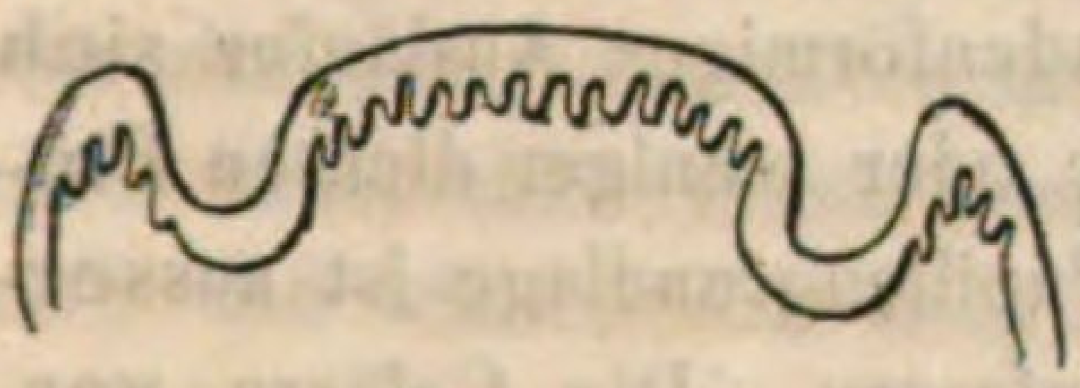
Bedeckung hat, so scheint doch diesen Thieren der Geschmack nicht zu fehlen, da viele von ihnen einzelne Speisen besonders lieben, so die Sperlinge und Hühner. Die Papageien haben unstreitig an ihrer fleischigen, beweglichen Zunge das beste Geschmacksorgan unter den Vögeln, während die Pelekane nur Rudimente einer Zunge haben.

Unter den Säugethieren treffen wir auf die verschiedensten Formen der Zunge und ihrer Bedeckung. Flach breit und wenig beweglich ist sie bei den Cetaceen, lang und stark dagegen und weit hervorstreckbar, so dass sie als Greiforgan dienen kann, bei mehreren Wiederkäuern und Einhufern, (Giraffe, Rind, Pferd), mit besondern Erhabenheiten auf dem Rücken bei mehreren Wiederkäuern, mit einer Unterzunge bei mehreren Affen und Fledermäusen. Die Bedeckung ist selten hartschuppig, wie bei Hystrix, oder mit Stacheln und Schuppen besetzt, wie bei den meisten Fleischfressern, welche Bewaffnung aber nicht das Dasein der Geschmackswärzchen zwischen den Stacheln und auf der Zungenwurzel ausschliesst, um so weniger, da die *papillae vallatae* an der Zungenwurzel die wichtigsten zu sein scheinen.

§. 85.

Was den feineren Bau der Zunge betrifft, so interessiren uns hier nur die morphologischen Eigenthümlichkeiten derjenigen Schleimhautparthie, welche wir als eigentliche Geschmacksprovinz kennen lernen werden, d. i. der Schleimhaut des hinteren Theiles des Zungenrückens. Während die übrige Zungenschleimhaut in ihrem Bau wenig von der übrigen Mundschleimhaut abweicht, deutet schon die besondere Structur der bezeichneten Parthie, namentlich der Bau ihrer Papillen auf eine eigenthümliche physiologische Function derselben hin. Es lassen sich an dem Zungenrücken drei wesentlich verschieden gebaute Papillenarten unterscheiden, von denen jedoch nicht alle als Vermittler der Geschmackseindrücke zu betrachten sind. Die wichtigsten von ihnen sind die sogenannten *papillae circumvallatae*, welche in verschiedener Zahl an dem hintern Theil des Zungenrückens unmittelbar vor der Zungenwurzel so angeordnet sind,

dass sie zwei von einem Punkt (*foramen coecum*) aus nach vorn in Gestalt eines V divergirende Reihen bilden; sie bestehen aus $\frac{1}{2}$—1‴ im Durchmesser haltenden, runden, mehr abgeplatteten, warzenartigen Erhebungen, welche (jede besonders, selten mehrere zugleich) von einem kreisförmigen, niedrigen von der Papillenbasis aus sich erhebenden Wall umgeben sind. Jede dieser Papillen ist eigentlich eine zusammengesetzte Papille, d. h. die als solche bezeichnete Erhebung der Schleimhaut trägt auf ihrer Oberfläche unter dem homogenen glatten Ueberzug von Pflasterepithelium eine Menge kleiner secundärer kegelförmiger



Papillen, (wie sie sich auch zwischen den grossen Papillen in der übrigen Mundschleimhaut unter dem Epithelialüberzug finden). Die eigentliche Papillensubstanz besteht aus einfachem zum Theil zu Bündeln geordneten Bindegewebe mit sparsamen Kernen und Kernfasern, Gefässen und Nerven. Die Gefässe bilden nach Koelliker[1]) ein sehr feines Capillarnetz, welches in jede der kleinen secundären Papillen eine zierliche Schleife abschickt; ebenso lösen sich die in mehreren feinen Stämmchen in die Hauptpapille eintretenden Nerven in einen dichten Plexus auf, dessen feine blasse Primitivfasern sich ebenfalls zu den secundären Papillen begeben, um dort nach Koelliker's Beobachtungen Schlingen zu bilden; höchst wahrscheinlich sind indessen diese Primitivfaserschlingen noch nicht die letzten Enden der Papillennerven, nicht die eigentlichen Aufnahmepunkte der Geschmackseindrücke. Sehr ähnlich den beschriebenen umwallten Papillen sind die *papillae fungiformes*, welche aus einer einfachen nicht mit einem Wall versehenen konischen Schleimhauterhebung bestehen, die ebenfalls auf ihrer ganzen Oberfläche unter dem glatten Epithelialüberzuge mit secundären Papillen besetzt ist, deren Substanz ebenfalls aus einem an der Basis ein netzartiges Geflecht bildenden Bindegewebe besteht. Die Verbreitung der Nerven und Gefässe ist ganz analog derjenigen in den umwallten Papillen. Koelliker verfolgte auch hier die Nervenprimi-

---

1) Koelliker, mikr. Anat. Bd. II., p. 28.

tivfasern bis in die secundären Papillen, sah sie auf dem Wege zu denselben allmählig schmäler und blasser werden, konnte jedoch über ihre letzte Endigungsweise nichts Sicheres beobachten. Die dritte Art der Papillen, die *papillae filiformes*, unterscheiden sich besonders durch die Form ihrer Epithelialbedeckung wesentlich von den beiden ersten Arten. Ihre Grundlage besteht aus einer länglichen, an der Oberfläche wiederum mit secundären Papillen besetzten Schleimhauterhebung, von deren Spitze aus jedoch das Epithelium sich zunächst bis zu einer den Papillen gleichen Höhe als homogene Schicht erhebt, und sodann in eine Menge langer fadenförmiger Ausläufer sich theilt, welche zusammen einen mehr oder weniger dichten Pinsel bilden. Das Bindegewebe der Papillengrundlage ist ausserordentlich reich an Kernen und Kernfasern. Die Gefässe verhalten sich wie in den ersten Papillenarten; über die Endigung der Nerven in ihnen ist nichts Bestimmtes beobachtet.

Wie wir oben die Papillen der äusseren Haut als Sinnesorgane für den Tastsinn kennen gelernt haben, so ist auch unstreitig den Zungenpapillen eine analoge Bedeutung für die Sinnesthätigkeit der Zunge zuzuschreiben; da jedoch dieselbe für zweierlei Sinneseindrücke für Tast- und Geschmackseindrücke empfänglich ist, fragt es sich, wie die verschiedenen Papillenformen die Aufnahme dieser doppelten Eindrücke unter sich theilen. Durch directe Experimente lässt sich diese Frage nicht entscheiden, Sitz und Bau der einzelnen Papillenarten giebt uns jedoch einige Anhaltpunkte zu einer wahrscheinlichen Antwort. Einerseits finden wir denjenigen Theil der Zunge, welcher den feinsten Tastsinn hat, die Zungenspitze, besonders mit der zweiten Art der Papillen (*fungiformes*) bedeckt, während dagegen die *papillae vallatae* lediglich auf den Theil der Zunge beschränkt sind, an welchen die eigentlichen Geschmacksempfindungen gebunden sind; die dritte Art der Papillen endlich, die *filiformes*, sind an der Mitte des Zungenrückens am verbreitetsten, also an demjenigen Theile, an welchem Tastsinn wie Geschmackssinn gleich schwach entwickelt sind. Andererseits erscheinen die *papillae vallatae* vermöge ihrer dünnen gleichmässigen Epithelialbedeckung und ihres grossen Nervenreichthums am geeignetsten, Ein-

drücke der flüssigen Geschmacksobjecte auf die Nervenenden zu gestatten, während die *papillae fungiformes* durch dieselben Bedingungen zwar sowohl für Geschmacks- als für Gefühlsperception geschickt erscheinen, ihrem Sitz nach aber wahrscheinlich der letzteren Verrichtung hauptsächlich bestimmt sind. Die *papillae filiformes* eignen sich ihres dicken hornigen Ueberzugs, ihrer langen hornigen Fortsätze wegen, noch weit eher zur Aufnahme von Tasteindrücken, wo dann jene Fortsätze nach Art der Sonden dienen würden, als zur Geschmacksempfindung.

Zur feineren Anatomie der Zungennerven haben wir nur noch eine zuerst von Remak [1]) beobachtete, von Koelliker [2]) weiter untersuchte Eigenthümlichkeit des *nervus glossopharyngeus*, den wir als den hauptsächlichen Geschmacksnerven kennen lernen werden, zu erwähnen. Derselbe zeigt nämlich an dem Verlauf seiner zur Zungenwurzel und den *papillis vallatis* gehenden Aeste zahlreiche mikroskopische Ganglien, welche besonders in den Theilungswinkeln derselben sitzen; es ist aber bis jetzt weder sicher beobachtet, in welchem anatomischen Verhältniss dieselben zu den Nervenprimitivfasern stehen, noch lässt sich auch nur vermuthen, in welcher Beziehung dieselben zur physiologischen Function des *glossopharyngeus* stehen.

§. 86.

Die wesentlichste Bedingung für das Zustandekommen einer Geschmacksempfindung ist, wie sich bereits aus unserer Definition ergiebt, dass der zu schmeckende Körper in flüssiger Form, gleichviel ob er dieselbe schon vor dem Einführen in die Mundhöhle besitzt, oder erst durch die wässrigen Mundfeuchtigkeiten (Speichel und Mundschleim) in dieselbe übergeführt, gelöst wird, mit den zur Perception einer Geschmacksempfindung befähigten Theilen der Mundhöhle in Berührung kommt. Kein fester in Wasser unlöslicher Körper erregt eine wahre Geschmacksempfindung, wenn auch dessen Berührung mit der Zungenschleimhaut zuweilen zu

---

1) Remak, Müller's Arch. 1844. p. 464. — 2) Koelliker a. a. O. p. 33.

eigenthümlichen Empfindungen Veranlassung giebt, welche grösstentheils auf Aeusserungen des Tastsinns der Zunge zurückzuführen sind. Aber auch nicht alle flüssige oder in Wasser lösliche Körper erregen Geschmacksempfindungen; so ist das reine Wasser selbst und eine Menge in Wasser leichtlöslicher chemischer Substanzen bekanntlich geschmacklos. Welche physikalisch-chemische Constitution eine in Wasser lösliche Substanz besitzen müsse, um schmeckbar zu sein, wissen wir nicht, natürlich noch weniger, auf welchen Bedingungen die verschiedenen Arten des Geschmacks von den hauptsächlichsten, die wir als bitter, sauer, süss etc. bezeichnen, bis zu den unendlichen feinen Nuançen, die wir meist nach gewissen Substanzen, denen sie vorzugsweise eigen sind, benennen, beruhen. Ja wir können nicht einmal diese verschiedenen Arten der Geschmacksempfindungen definiren, so klar die Vorstellung eines jeden Menschen von der subjectiven Empfindung, die als bittrer oder saurer Geschmack bezeichnet wird, ist. Es giebt sogar Empfindungen auf der Zunge, von denen wir gar nicht entscheiden können, ob wir sie als Geschmacksempfindungen oder als Tastempfindungen betrachten sollen; gewiss sind eine Menge derselben, welche im gewöhnlichen Leben als Geschmacksempfindungen bezeichnet werden, weil sie durch Dinge veranlasst werden, die man zum Zweck des Kostens in den Mund bringt, oder weil sie promiscue mit andern Geschmacksempfindungen auftreten, entschieden zu den Aeusserungen des Tastsinnes zu rechnen. Das gilt z. B. von dem sogenannten brennenden, kratzenden Geschmack gewisser Substanzen, noch mehr aber von dem kühlenden Geschmack, indem diese Kühlung wie an der äusseren Haut auf einer von den Tastnervenenden percipirten Wärmeentziehung beruht, sei dieselbe durch starke Verdunstung (Naphten, ätherische Oele), oder durch gute Wärmeleitungsfähigkeit der in den Mund gebrachten Substanzen bedingt. Gasförmige Körper erregen ebenfalls Geschmack, wenn sie in Wasser löslich und ausserdem jene unbekannte Eigenschaft des Schmeckbaren besitzen. Schweflige Säure in den Mund gebracht erregt Anfangs besonders in dem Rachen und noch mehr in den Luftwegen eine brennende kratzende Empfindung,

die wir jedoch nicht als Geschmacksempfindung betrachten dürfen, und erst nach einigen Augenblicken, wenn die Mundflüssigkeit das Gas absorbirt hat, tritt der saure Geschmack ein. Der Umstand, dass nur flüssige Körper schmeckbar sind, dass feste aber lösliche, auf die Zunge gebracht, erst dann geschmeckt werden, wenn sie sich gelöst haben, beweist, dass der schmeckbare Körper die Epithelialschicht der Zungenschleimhaut durchdringen, ihre Lösung durch die Epithelien bis zu den Nerven selbst vordringen muss, um Geschmacksempfindung zu erregen, während eine Tastempfindung zu Stande kömmt, wenn ein Körper nur mit der Bedeckung der Nervenenden in Berührung kommt, welche Bedeckung den Druck oder die Temperatur des Tastobjects zu den Nerven fortpflanzt.

Eine zweite wesentliche Bedingung für die Erregung einer Geschmacksempfindung ist eine gewisse Concentration der Lösung der schmeckbaren Substanz; der Grad dieser Concentration ist verschieden für die verschiedenen Substanzen, und hängt von der Intensität der Geschmacksempfindung, die ein Körper zu erregen im Stande ist, ab. Krümelzucker schmeckt weit schwächer süss als Rohrzucker; es giebt daher einen Grad der Verdünnung, bei welchem eine Rohrzuckerlösung noch süss schmeckt, die Krümelzuckerlösung aber gar keinen Geschmack mehr erregt. Manche Substanzen haben die Eigenschaften noch in ausserordentlich verdünnten Lösungen Geschmack zu erzeugen (insbesondere bittere Stoffe), andere werden erst in sehr concentrirter Lösung schmeckbar.

Valentin [1]) hat eine ausführliche Versuchsweise mit verschiedenen Substanzen über die Intensität ihres Geschmackseindrucks, über den zur Erregung derselben überhaupt erforderlichen Concentrationsgrad ihrer Lösung angestellt. Die von ihm untersuchten Stoffe ordnen sich in dieser Beziehung in folgender Reihe, wobei das folgende Glied immer grössere Verdünnung verträgt, ohne seinen Geschmack zu verlieren, als das vorhergehende: Syrup, Zucker, Kochsalz, Aloëextract, schwefelsaures Chinin, Schwefelsäure.

Ein drittes Moment, welches das Zustandekommen einer Geschmacksempfindung wenigstens wesentlich befördert, ist die

---

1) Valentin Lhrb. d. Phys. II. p. 301.

Beweglichkeit der Zunge gegen den harten Gaumen. Das intentirte Schmecken oder Kosten geschieht dadurch, dass wir die zu schmeckende Flüssigkeit auf die Zunge bringen, auf derselben sich ausbreiteu lassen, und sodann die Zunge besonders ihren hinteren Rückentheil einmal oder wiederholt gegen den harten Gaumen drücken und an demselben reiben. Strecken wir die Zunge weit heraus und bringen selbst concentrirte Lösungen solcher Körper, deren Geschmack überhaupt nicht zu intensiv ist, wie Zucker, auf den Rücken derselben, ohne sie jedoch zu bewegen, so entsteht lange Zeit entweder gar keine, oder nur eine schwache Geschmacksempfindung, während im Moment, wo wir die Zunge an den Gaumen heranbewegen, eine intensive Empfindung entsteht. Der Nutzen dieser Zungenbewegung ist nicht so völlig klar, als es scheinen möchte. Wahrscheinlich ist er hauptsächlich ein mechanischer; der Druck, dem die Flüssigkeit zwischen Zungenrücken und Gaumen ausgesetzt wird, macht nicht nur die Berührung derselben mit allen Theilen der schmeckenden Oberfläche inniger, die Vermischung der schmeckbaren Flüssigkeit mit der die Zungenpapillen bedeckenden Mundflüssigkeitsschicht leichter, sondern begünstigt wahrscheinlich auch das Durchdringen der ersteren durch den Epithelialüberzug der eigentlichen Perceptionsorgane. Ob die Reibung der Zunge und der dadurch ausgeübte Druck auf die Enden der Geschmacksnerven dieselben empfänglicher für die Geschmackseindrücke macht, lässt sich nicht entscheiden.

In gleicher Weise, wie wir oben für die Tastempfindungen eine gewisse Dauer nachgewiesen haben, lässt sich eine solche bei den Geschmacksempfindungen, beobachten; nur mit dem Unterschied, dass die Dauer der letzteren mehr von der Qualität der Geschmacksobjecte abhängig ist, und daher für verschiedene Substanzen verschieden gross ist. Die tägliche Beobachtung lehrt, dass der Geschmack gewisser Substanzen schnell nach dem Hinunterschlucken und dem Entfernen der im Mund rückständigen Lösung derselben durch Trinken oder Wegspülen mit Speichel oder Nachessen andersschmeckender Körper verschwindet, während manche andere Substanzen einen sehr nachhal-

tigen durch die genannten Mittel nicht vertilgbaren Nachgeschmack erzeugen. So ist es eine bekannte Erscheinung, dass insbesondere bitterschmeckende Substanzen, z. B. Chinin, einen stundenlang andauernden Nachgeschmack erzeugen, welcher beim Nachessen süssschmeckender Stoffe nur momentan nicht empfunden wird, nach dem Vergehen des süssen Geschmacks aber immer wiederkehrt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass solche nachhaltige Nachgeschmacke nur zum Theil auf objectiven Gründen, d. h. auf einer fortdauernden Einwirkung der genossenen Substanz auf die Nervenenden, zum grössten Theil aber auf subjectiven Gründen beruhen, und den Hallucinationen anderer Sinnesnerven näher stehen. Von diesem Nachgeschmack, der in der langen Fortdauer der ursprünglich von einer Substanz erregten Geschmacksempfindung besteht, ist die im gewöhnlichen Leben vorzugsweise mit Nachgeschmack bezeichnete Erscheinung zu unterscheiden, welche in dem Auftreten einer von der ursprünglichen Geschmacksempfindung differenten Empfindung nach der Entfernung des Geschmacksobjects aus der Mundhöhle besteht. So entsteht oft nach Genuss süssschmeckender Stoffe ein bittrer Geschmack und umgedreht, nach Genuss von Zucker ein saurer Nachgeschmack. Auch diese Erscheinung ist höchstwahrscheinlich nur in den seltensten Fällen objectiv, von einer materiellen Einwirkung der genossenen Stoffe auf die Geschmacksnerven herzuleiten; so wie man z. B. bei dem Zucker wenigstens daran denken könnte, den sauren Nachgeschmack aus einer Umwandlung der in die Nervenumgebung imbibirten Zuckerlösung in Säuren, wie sie im Darmkanal vor sich geht, zu erklären. In den meisten Fällen beruht diese Erscheinung gewiss auf denselben Ursachen, wie z. B. das unten zu beschreibende Phänomen, dass die Retina nach erhaltenem intensiven Eindruck einer bestimmten Farbe die subjective Nachempfindung der entgegengesetzten Farbe äussert, und ist demnach als ein Act der reinen Nerventhätigkeit zu betrachten. Am häufigsten tritt ein bittrer Nachgeschmack auf (Horn[1]).

---

1) Horn, Ueber den Geschmackssinn des Menschen, Heidelberg 1825.

Die Beurtheilung der empfangenen Geschmackseindrücke ist ausserordentlich verschieden bei verschiedenen Personen. Nicht allein, dass viele besonders durch Uebung erlernen, jene Eindrücke weit schärfer aufzufassen, feine Nuançen derselben sicherer zu unterscheiden, als andere, sondern noch weit mehr weichen die Meinungen über die Annehmlichkeit oder Unannehmlichkeit eines bestimmten Geschmackes ab; ein Körper dünkt dem Einen wohlschmeckend, während bei einem Andern schon die Vorstellung von dem Genuss desselben Ekel erregt. Ja es kann bei einer und derselben Person das Urtheil über die Qualität eines Geschmacks sich ändern, und eine früher schmackhafte Substanz später widerlich dünken, besonders leicht giebt zu dieser Sinnesänderung zu häufig wiederholter Genuss einer Substanz Veranlassung. Eine nähere Betrachtung dieser subjectiven Verschiedenheiten in der Auffassung der Geschmackseindrücke gehört nicht hierher.

Abgestumpft wird die Feinheit des Geschmacks durch zu hohe und niedrige Temperatur, durch öftere Wiederholung sehr intensiver Geschmackseindrücke, so wie durch öfteren schnellen Wechsel differenter Geschmackseindrücke. Bringen wir stark saure Dinge in den Mund, so sind wir darauf für andere Geschmacksarten meist sehr unempfänglich; kosten wir bei verbundenen Augen rothen und weissen Wein wiederholt hintereinander, so können wir schliesslich beide Sorten nicht mehr unterscheiden. Ferner wird die Geschmacksempfindung durch Trockenheit der Zunge sehr verdunkelt, oder ganz aufgehoben, aus dem leichtbegreiflichen mechanischen Grund, weil feste Körper bei mangelnder Mundfeuchtigkeit nicht in den erforderlichen gelösten Zustand übergeführt werden können, und selbst Flüssigkeiten nach bekannten physikalischen Gesetzen in die trockene Epithelialschicht sich schwieriger imbibiren und demnach langsamer zu den eigentlichen Aufnahmeorganen der Geschmackseindrücke vordringen.

Sehr häufig wird der Geschmack in pathologischen Zuständen abgestumpft und verdorben, und zwar natürlich am meisten bei Affectionen der Mundschleimhaut selbst, wenn diese sich auf die Zunge ausbreiten. Es ist aber eine bekannte Thatsache,

dass die Mundschleimhaut nicht nur idiopathisch häufig erkrankt (Catarrh), sondern bei der grossen Mehrzahl besonders acuter Krankheiten in Mitleidenschaft geräth, sei es durch directe Ausbreitung der Erkrankung angränzender Schleimhäute und Organe (Nasen-, Kehlkopf-, Lungencatarrh), sei es durch sogenannte sympathische Erkrankung bei Krankheiten entfernter Organe (Magen- und Darmkanal), oder allgemeinen constitutionellen Erkrankungen. In der Mehrzahl dieser Fälle liegt die Ursache der Stumpfheit des Geschmackes in dem mechanisch erschwerten oder verhinderten Zutritt der schmeckbaren Flüssigkeit zu den Nervenenden, indem der Epithelialüberzug entweder zu trocken, oder zu dick, oder durch Hyperämie, Exsudation u. s. w. anderweitig verändert und mehr oder weniger impermeabel gemacht ist. Dass aber die Ursache jener Geschmacksabstumpfung auch in den Nerven selbst liegen kann, indem sie entweder für Geschmackseindrücke überhaupt oder wenigstens für bestimmte Arten derselben unempfänglich werden, dafür spricht schon das häufige Auftreten eigenthümlicher subjectiver (d. h. nicht durch von aussen eingeführte Dinge veranlasster) Geschmacksempfindungen, wie z. B. der häufige bittere Geschmack bei Krankheiten des unteren Digestionsapparates, oder die verkehrten Geschmacksempfindungen bei Genuss schmeckbarer Stoffe. Die oft ganz entgegengesetzten Geschmacksempfindungen histerischer Personen ohne alle sichtbare Veränderung der Zungenschleimhaut können kaum auf etwas Anderem beruhen, als auf einer veränderten Receptivität der Nervenenden oder einer verkehrten Verarbeitung der erhaltenen Eindrücke in den Centralorganen. Freilich ist mit dem vagen Ausdruck: Nervenumstimmung nichts erklärt. Die erwähnten krankhaften subjectiven Geschmacksempfindungen beruhen gewiss zuweilen auch auf einer materiellen äusseren Einwirkung auf die Geschmacksnerven, d. h. auf der Einwirkung im Blute befindlicher oder in das die Nervenenden umgebende Gewebe aus dem Blute exsudirter Stoffe (Gallenstoffe, Salze). Den Beweis dafür liefert die Thatsache, dass man gewisse intensiv schmeckende Substanzen, wenn man sie verschluckt, ohne dass sie die Geschmacksorgane berühren, einige Zeit nach dem Verschlucken

zu schmecken glaubt, indem die in das Blut aufgenommenen schmeckbaren Theile von diesem aus zu den Geschmacksnerven gelangen.

Wie im normalen Zustande, so sind namentlich auch im pathologischen gewisse als krankhafte Modificationen des Geschmacks bezeichnete Empfindungen nichts Anderes als modificirte Tastempfindungen, indem natürlich der Tastsinn ebenso wie der Geschmack bei Zungenaffectionen verändert wird. So ist z. B. der sogenannte „pappige" Geschmack, der bei belegter Zunge so häufig auftritt, lediglich in der Abstumpfung der Tastempfindungen begründet.

§. 87.

Wir haben bei unseren bisherigen Betrachtungen über die Aeusserungen des Geschmackssinnes die Zunge als das Organ desselben betrachtet, und vorläufig den hinteren Theil ihres Rückens als die eigentliche Geschmacksprovinz bezeichnet. Wir haben jetzt ausführlicher darzulegen, auf welchen Thatsachen diese Angabe fusst, warum wir nicht auch gewisse andere Theile der Mundschleimhaut als Geschmacksorgane betrachten, zu denen sie von verschiedenen Physiologen gerechnet werden. Was zunächst die Zunge selbst betrifft, so sind alle Beobachter darüber einig, dass die eben bezeichnete Region derselben den feinsten Geschmackssinn besitzt, einen feineren als die Spitze, welche wir als den Sitz des feinsten Tastsinns kennen gelernt haben. Valentin [1]) aber spricht auch der Unterfläche der Zunge einen nicht viel weniger feinen Geschmackssinn zu, als dem Rücken. Ich habe trotz vielfach wiederholter Versuche niemals an der Unterseite der Zunge auch nur die leiseste Geschmacksempfindung erzielen können. Bringe ich eine concentrirte Zuckerlösung an die bezeichnete Stelle, so kann ich die Zunge selbst an dem Boden der Mundhöhle reiben, ohne einen süssen Geschmack zu erhalten, ebenso schmeckt mir ein an dieser Stelle geriebenes Stück Zucker nicht süss; erst in dem Moment, wo die Zuckerlösung, in dem sich ansammelnden Speichel diffundirt, mit diesem zum Zungenrücken gelangt, tritt die Geschmacksempfindung ein. Dieselbe Beobachtung habe ich

---

1) Valentin, Lhrb. der Phys. II. p. 299.

mit intensiv bitter schmeckenden Stoffen gemacht und bei verschiedenen Personen bestätigt gefunden; es kann demnach wenigstens nicht bei allen Personen die Unterseite der Zunge Geschmackssinn besitzen.

Eine andere vielfach und auf sehr verschiedene Weise beantwortete Frage ist die: Sind ausser der Zunge noch andere Theile der Mundhöhle zur Vermittlung von Geschmacksempfindungen befähigt?

Einige Beobachter, besonders die Aelteren, dehnen die Fähigkeit der Geschmacksempfindung über die ganze Mundhöhle mit den Zähnen aus, z. B. Magendie [1]). Richerand [2]) sieht zwar die Zunge als Hauptorgan des Geschmackes an, läugnet aber nicht, dass auch die Lippen, das Zahnfleisch, der harte und weiche Gaumen Geschmack empfinden können. Valentin [3]) lässt ausser der Zunge noch die hintern Gaumenbogen, die Mandeln und die Umgebung des Kehldeckels mit dem der Zungenwurzel entgegen stehenden Theile des Schlundkopfes schmecken, und Joh. Müller [4]) schliesst aus seinen Versuchen, dass ausser der Zunge nur der weiche Gaumen Geschmacksempfindung vermittle. Von neuern Forschern geht Mayer [5]) gar so weit, dass er selbst der Schleimhaut der Luftröhre Geschmacksempfindung zuschreibt. Auf die Zunge allein beschränken die Geschmacksempfindung von Aelteren Rudolphi [6]) und Raspail [7]), von Neuern Wagner [8]) und Bidder [9]).

Man sieht, dass im Allgemeinen die ältern Physiologen die Fähigkeit der Geschmackswahrnehmung weit ausdehnten, während die neuern dieser Fähigkeit immer engere Grenzen steckten und sie endlich auf die Zunge beschränkten. Nach eignen vielfachen Versuchen nimmt Günther nur in der hintern Hälfte der Zunge Geschmacksfähigkeit an, weder Gaumen, noch Gaumen-

---

1) Magendie, *Précis élémentaire* 4. *Edit. Tom. I. p.* 167. — 2) Richerand, *Nouv. élémens de physiol. II. p.* 61. — 3) Valentin, *De functionib. nervor. p.* 116 u. Lhrb. d. Phys. II. p. 551. — 4) J. Müller, Physiol. II. p. 490. — 5) Mayer, Haeser's Repert. IV. p. 165. — 6) Rudolphi, Physiologie. II. p. 61. seq. — 7) Raspail, Froriep's Notizen. Nr. 98. — 8) Wagner, Physiologie. 3. Afl. p. 337. — 9) Bidder, Hdw. d. Phys. III. p. 2.

bogen etc. können wirklich die hier in Rede stehende Empfindung vermitteln, doch gehört die ganze Mundhöhle, besonders der Gaumen zu den Unterstützungsorganen der Zunge, indem sich dieselbe an ihn andrücken und dadurch eine innigere Berührung zwischen sich und dem schmeckbaren Körper vermitteln kann, wodurch natürlich die Wahrnehmung einer kleinen Menge wenig schmeckender Flüssigkeit begünstigt wird.

Günther hat als Militairarzt im Hospitale an Soldaten häufige Versuche über den Geschmack angestellt und ist zu der Ueberzeugung gekommen, dass dieselben nur mit grosser Vorsicht angestellt, und Schlüsse daraus nur nach der sorgfältigsten Prüfung aller Nebenumstände gezogen werden dürfen. So gaben die ersten Versuche auch Günther das Resultat, dass der Gaumen schmecke, allein später fand er, dass entweder die angebrachte Feuchtigkeit durch Bewegung des Gaumens auf die Zunge gebracht worden war, oder die Zunge sich gehoben hatte, oder flüchtige Substanzen von der die Zunge bedeckenden Feuchtigkeit aufgenommen worden waren. Sehr viel kommt bei diesen Versuchen auch auf die Aufmerksamkeit und die Intelligenz der Personen an, mit welchen man dieselben anstellt; indem einerseits die Tastempfindungen am Gaumen leicht mit Geschmacksempfindung verwechselt werden, andererseits vorgefasste Meinungen leicht subjective Sinnestäuschungen verursachen können.

Valentin[1]) giebt an, dass das blosse Betupfen des Gaumens, der Mandeln und der hintern Schlundwand mit schmeckbaren Stoffen keine Geschmacksempfindung hervorrufe, dass dieselbe aber allmählig eintrete, wenn man mit einem Pinsel die Substanz an den bezeichneten Stellen reibe. So sehr Valentin den Gedanken zurückzuweisen sucht, dass hier die schmeckbare Substanz durch die Mundfeuchtigkeit zur Zunge verbreitet worden sei, so bin ich doch fest überzeugt, dass dies der Fall gewesen sei, indem ich mich bei Wiederholung des Versuches versichert habe, dass die beim Reiben von Zucker oder Kochsalz an dem Gaumen allmählig eintretende Geschmacksempfindung nicht an dem Gaumen, sondern auf der Zunge entsteht, dass man aber sehr geneigt ist, den Ort des empfundenen heftigen Tasteindrucks (durch das Reiben) mit dem des schwachen Geschmackseindruckes zu identificiren, und nur bei der genauesten Aufmerksamkeit beide als örtlich getrennt unterscheidet.

Ausser den Experimenten sprechen auch noch andere Gründe für den Sitz des eigentlichen Geschmacks in der Zunge.

---

1) Valentin, Lhrb. der Phys. II. p. 296.

Dass der Geschmack eine eigene Sinnesthätigkeit ist, wird Niemand läugnen, zu dieser gehört aber ein besonders dazu gebautes Organ. Nirgends finden wir aber ein Organ, welches so geeignet wäre, den Geschmack zu vermitteln, als die Zunge; diese erhält ausser dem Bewegungsnerven noch zwei andere, von denen der Eine wahrscheinlich specifischer Sinnesnerv ist; dieselbe hat auf ihrer Oberfläche die Geschmackswärzchen, in denen sich die Nerven endigen, die also ganz in einer Lage sind, mit Leichtigkeit durch die schmeckbare Substanz verändert zu werden; nicht unerwähnt möchten wir endlich die Leichtbeweglichkeit der Zunge lassen, wodurch sie geschickt wird, sich dem über ihr liegenden Gaumen anzuschmiegen und so zur feinern Geschmacksempfindung beizutragen. — Wo finden wir in der ganzen Mundhöhle diese Bedingungen der Geschmacksempfindung vereinigt? — Nirgends als in der Zunge. — Endlich lassen sich noch aus der vergleichenden Anatomie nicht zu verwerfende Gründe entlehnen. Von dem Geschmack der Wirbellosen kann kaum gesprochen werden, die Fische, deren ganzer Bau so eingerichtet ist, dass sie ihren Frass ganz verschlingen, haben nur eine kleine wenig bewegliche, oft mit harten Stacheln bis hinter besetzte Zunge, ebenso ist bei den meisten Amphibien die Zunge zum Geschmack wenig geeignet, sie verschlingen, wie die Fische, ihren Frass hastig, nur die Früchte und Blätter liebenden Landschildkröten z. B. haben eine mehr ausgebildete fleischige Zunge. Von den gesammten Vögeln haben fast nur die Früchte fressenden Papageien eine fleischige Zunge. Unter den Säugethieren sind es wieder die Krautfresser, welche eine ganz zur feinern Geschmacksunterscheidung geeignete Zunge haben, während die Insekten- und Fleischfresser entweder eine hornige Zunge haben, wie z. B. der Ameisenbär, oder der vordere grössere Theil der Zunge ist mit hornigen Stacheln besetzt, um beim Lecken die Haut des Raubes zu verwunden; das warme Blut wird erst durch die am Grunde der Zunge gelegenen Geschmackswärzchen deutlich wahrgenommen und dadurch der Appetit und mit diesem die Blut- und Kampfgier mehr angestachelt.

Wo also die Nahrung eine genauere Unterscheidung der

Futterstoffe nöthig macht, wie bei den Krautfressern, findet sich eine weiche zum Schmecken ganz geeignete Zunge, dagegen wo die Nahrung ganz verschlungen wird, also vom Geschmack gar nicht die Rede ist, oder die Nahrung keine feinere Unterscheidung nöthig macht, wie bei den Fleischfressern, ist die Zunge entweder gar nicht oder nur in ihrem hintern Theile so gebaut, dass wir aus diesem Baue auf Geschmacksempfindung schliessen können.

Daraus aber, dass die Ausbildung und Feinheit der Zunge mit der Nothwendigkeit feinerer Geschmacksunterscheidung gleichen Schritt hält, wie es kein anderer Theil der Mundhöhle thut, können wir mit grosser Wahrscheinlichkeit schliessen, dass nur die Zunge das Organ des eigentlichen Geschmacks sei, und an dieser wiederum der hintere Theil des Rückens, an dem die *papillae vallatae* sind, sich vorzugsweise der Geschmacksfähigkeit erfreue.

§. 88.

Nachdem wir so den Sitz des Geschmackssinnes nachgewiesen haben, bleibt uns noch eine letzte Frage zu entscheiden übrig. Welches ist der specifische Sinnesnerv für die Aufnahme der Geschmackseindrücke und deren Zuleitung zu den Centralorganen? Die Zunge wird bekanntlich von drei Gehirnnerven versorgt, vom *Nervus hypoglossus*, *glossopharyngeus* und dem dritten Aste des *N. trigeminus;* welcher von diesen drei Nerven ist Geschmacksnerve, oder sind es mehrere, welche stehen den anderen Functionen der Zunge ihrem Tastsinn ihrer Bewegung vor?

Der *nervus hypoglossus* ist stets von allen Physiologen nach den übereinstimmenden Resultaten der directen Experimente an Thieren als der Bewegungsnerv der Zunge, als unbetheiligt bei der Aufnahme von Geschmacks- und Tasteindrücken angesehen worden. Nach Durchschneidung desselben wird die Zunge unbeweglich, kann, wenn sie vorgefallen ist, nicht zurückgezogen werden, besitzt dagegen ihre Empfänglichkeit für sensible wie für Geschmackseindrücke in unverändertem Maasse; die Thiere verrathen Schmerz bei mechanischer Verletzung der Zunge und

weisen entschieden übelschmeckende Substanzen zurück. Man ist ferner in neuerer Zeit allgemein dahin übereingekommen, dass der *n. glossopharyngeus* Geschmacksempfindungen vermittelt, dass er der hauptsächliche Geschmacksnerv ist, dass endlich der *nervus lingualis* des *trigeminus* der Tastnerv der Zunge ist; dagegen streitet man noch bis jetzt, ob, wie einige behaupten, der *glossopharyngeus* der alleinige Geschmacksnerv ist, oder ob auch der *lingualis* neben den Tasteindrücken Geschmackseindrücke aufzunehmen im Stande ist; einige schreiben dem letzteren sogar die Geschmacksempfänglichkeit in hohem Grade zu. Der Hauptgrund, warum diese Frage so schwierig zu entscheiden ist, liegt in der Schwierigkeit, mit Sicherheit zu bestimmen, ob der Geschmackssinn bei den Thieren, an die wir uns hauptsächlich halten müssen, vorhanden, abgestumpft oder ganz geschwunden ist, wenn wir den oder jenen Nerv ausser Wirksamkeit gesetzt haben. Es giebt nämlich drei Wege, auf denen die Beantwortung der genannten Frage möglich und versucht worden ist: 1) die Berücksichtigung der anatomischen Verhältnisse der fraglichen Nerven. 2) Das Experiment an Thieren mit Durchschneidung der Nerven und 3) die Erfahrungen, welche pathologische Verhältnisse uns an die Hand geben.

Die anatomischen Verhältnisse der Nerven zu den Geschmackswärzchen lehren uns, dass der Zungenschlundkopfnerv hauptsächlich den Theil der Zunge, den wir als Geschmacksprovinz bezeichnet haben, und dessen *papillae vallatae* mit Zweigen versorgt, dass er also jedenfalls zu deren Function und das ist die Aufnahme von Geschmackseindrücken in inniger Beziehung steht. Der Zungenast des dreigetheilten Nerven dagegen schickt die Hauptmasse seiner Zweige nach dem vorderen Theil der Zunge, welche gar kein oder nur ein unvollkommnes Geschmacksvermögen, dafür aber den feinsten Tastsinn besitzt. Es lässt sich nun zwar daraus nicht folgern, dass der *lingualis* durchaus gar nichts mit den Geschmacksempfindungen zu thun habe, soviel geht aber aus dem anatomischen Verlauf hervor, dass er zu diesem Sinn jedenfalls in einer weit untergeordneteren Beziehung steht als der Zungenschlundkopfnerv.

Das Experiment an Thieren besteht darin, dass man

die zweifelhaften Nerven durchschneidet und aus der gestörten Function des Geschmacks oder des Gefühls in der Zunge auf die Bestimmung des Nerven einen Schluss macht. Nur müssen aber diese Versuche an höhern, also auch intelligenten Thieren vorgenommen werden, da bei niederen Thieren der Geschmack sehr zweifelhaft ist, und gewöhnlich sind Hunde gewählt worden. Bei diesen Thieren tritt aber ihre Intelligenz der Reinheit des Resultates störend in den Weg, denn einmal verletzt, merken sie sich den Experimentator, fürchten sich vor ihm und lassen wohl den Frass unberührt, weil er von diesem oder seinen Gehülfen kommt, ferner werden sich blosse Abstumpfungen des Geschmacks nach solchen Operationen kaum erkennen lassen. Es dürfen daher nur mit grosser Vorsicht aus solchen Versuchen Schlüsse gezogen werden; das Zurückweisen einer Substanz darf nicht immer als sicherer Beweis des Vorhandenseins des Geschmackssinns betrachtet werden; weit eher darf man aus dem Verschlucken einer von dem Thier im gesunden Zustand stets zurückgewiesenen Substanz auf den Mangel des Geschmacks schliessen. Dass man nicht mit riechenden Substanzen, oder solchen, die unangenehme Tasteindrücke auf der Zunge hervorrufen, experimentiren darf, versteht sich von selbst.

Die ersten sorgfältigen, hierher gehörigen Versuche stellte Panizza [1]) an, aus welchen hervorzugehen schien, dass nur der Ast des Zungenschlundkopfnerven den Geschmack, und der Ast des dreigetheilten Nerven das Gefühl, Getast der Zunge vermittle. Obgleich Valentin [2]) auf zahlreiche Versuche gestützt diese Angaben bestätigte, ferner Stannius [3]) zu ähnlichen Resultaten kam, so stehn dem doch nicht zu verachtende Stimmen entgegen, als Reid [4]), J. Müller und Kornfeld [5]), Alcock [6])

---

1) Panizza, Versuche über die Verrichtungen der Nerven. Aus dem Italienischen. Erlangen 1835. p. 43. — 2) Valentin, Lhrb. der Phys. II. p. 393. — 3) Stannius, J. Müller's Archiv. 1848. p. 132. — 4) Reid, Schmidt's Jahrb. Bd. 21. p. 146. — 5) Müller und Kornfeld, J. M., Archiv 1837. p. 277 und Kornfeld, *De functionib. nervorum linguae. Berol.* 1836. — 6) Alcock, Frorieps Neue Notizen I. Nr. 18.

und Gurlt[1]), welche sowohl den Zungenast des dreigetheilten als den des Zungenschlundkopfnerven für Geschmacksempfindung leitend ansehn. Bidder[2]) wagt es nicht, sich bestimmt auszusprechen, da dergleichen Versuche über Empfindungen bei Thieren zu vielen Täuschungen unterworfen seien, neigt sich aber im Ganzen doch mehr zu der Ansicht Panizza's und Valentin's.

Vergleichen wir genau die Versuche selbst, die Art ihrer Anstellung, und die speciellen Ergebnisse, auf welche die verschiedenen Autoren ihre Schlüsse gebaut haben, so ergiebt sich, dass manche der Versuche nicht völlig beweiskräftig, manche Resultate mindestens zweideutig sind. Es sind z. B. scharfe brennende Substanzen verwendet worden, und aus dem Verschlingen derselben nach Durchschneidung des *trigeminus* auf den Verlust des Geschmacks geschlossen worden; da wir aber schon oben den sogenannten scharfen und brennenden Geschmack nicht als Geschmacks-, sondern als Tastempfindung bezeichnet haben, kann jenes Ergebniss auch nur den Verlust der Tastempfindung der Zunge nach Durchschneidung des *trigeminus* beweisen. Unter allen Versuchen erscheinen mir die von Panizza angestellten, von Valentin wiederholten und modificirten die besten, die beweiskräftigsten; beide experimentirten nur mit stark bittern, geruchlosen, von jeder Nebenwirkung freien Substanzen, welche die Thiere im Normalzustand unter allen Umständen zurückwiesen, wie ein in Milch gelöstes Coloquinthendecoct; die Ergebnisse ihrer Versuche harmonirten im Ganzen so gut, und blieben sich so gleich, dass sie mir entscheidender dünken, als die für die entgegengesetzte Ansicht vorgebrachten. Die Thiere wiesen constant die fraglichen ihnen widerlichen Substanzen zurück, so lange der *glossopharyngeus* unversehrt, auch wenn der *trigeminus* durchschnitten war, verschluckten sie dagegen constant ohne merklichen Widerwillen, sobald der *glossopharyngeus* durchschnitten und der *lingualis trigemini* unversehrt war.

---

1) Gurlt, Physiol. d. Haussäugeth. 2. Afl. p. 426 und 427. —
2) Bidder, Hdw. d. Phys. III. p. 6.

Die Pathologie liefert leider keine sichern Beweise für die eine oder die andere Ansicht. Der am sorgfältigsten untersuchte Fall ist der von Romberg[1]). Bei Anästhesie des dritten Astes des fünften Nerven mangelte der Geschmack auf der kranken Seite der Zunge. Aus diesen und andern Umständen schliesst Romberg, dass der Zungenschlundkopfnerv nicht Geschmacksnerv sei, sondern die Empfindung des Ekels und Widerwillens vermittle. In Bishop's Fall waren die Aeste des fünften Nerven bei ihrem Ausgange aus dem Schädel durch eine Geschwulst zusammengedrückt und es war Gefühl und Geschmack der Zunge zerstört. Diesen Fällen steht der von Stamm[2]) und Cruse gegenüber. Im erstern war bei einer Degeneration des dritten Astes des fünften Paares Gefühllosigkeit der betreffenden Seite der Zunge mit ungestörter Geschmacksfähigkeit beobachtet worden, der Geschmack konnte also nur vom Zungenschlundkopfnerv vermittelt sein, denn es ist nicht anzunehmen, dass jene Degeneration nur die reinen Gefühlsfäden dieses Nerven getroffen und die Geschmacksnervenfäden, im Fall, dass solche da seien, verschont habe. Der *glossopharyngeus* war unverletzt. Im zweiten wurde Degeneration des *glossopharyngeus* ausserhalb der Schädelhöhle mit Verlust des Geschmackes beobachtet.

Noch einige andere pathologische Fälle, die theils für den *trigeminus*, theils für den *glossopharyngeus* sprechen, hat Romberg[3]) gesammelt.

Die auseinandergesetzten anatomischen, physiologischen und pathologischen Thatsachen sind zwar besonders der erwähnten Widersprüche wegen noch nicht ausreichend, eine endgültige Entscheidung der Frage, welches ist der Geschmacksnerv? zu begründen; es lässt sich aber doch so viel aus ihnen entnehmen, dass der *glossopharyngeus*, trotz Romberg's gegentheiliger Beobachtung, wirklicher Geschmacksnerv ist, während der *lingualis* neben den Tasteindrücken entweder gar keine oder

---

1) Romberg, J. M. Archiv. 1838. p. 503. — 2) Stamm, Schmidt's Jahrb. 1839. Bd. 24. p. 301. — 3) Romberg, Nervenkrankh. des Menschen. 2. Afl. I. p. 292.

nur bei einzelnen Personen und dann nur schwache Geschmackseindrücke aufzunehmen im Stande zu sein scheint, mit andern Worten, dass der *glossopharyngeus* der specifische Sinnesnerv des Geschmacks, der *lingualis* der des Getastes und vielleicht hier und da auch des Geschmackes ist. Diese Annahme gewinnt meines Erachtens sehr an Wahrscheinlichkeit, wenn man sich vergegenwärtigt, dass wir die specifische Natur eines Nerven durchaus nicht in ihm selbst, nicht in einem specifischen Leitungsvermögen seiner Fasern, sondern lediglich in der Art seiner peripherischen und seiner centralen Endigung zu suchen haben. Der *nervus opticus* vermittelt die Gesichtseindrücke nicht dadurch, dass er etwa ein specifisches Leitungsvermögen, ein specifisches Nervenagens besässe, sondern lediglich, weil ihm an seinem peripherischen Ende die complicirten Einrichtungen des Auges beigegeben sind, die ihn befähigen, Lichteindrücke aufzunehmen, und weil jedenfalls seine Endigungsweise im Gehirn der Art ist, dass die empfangenen Gesichtseindrücke zur bewussten Empfindung verarbeitet werden. Höchst wahrscheinlich würden die Fasern des *nervus acusticus* denselben Dienst verrichten, ebenso das Sehen vermitteln, wenn sie sich zwischen peripherischem und centralen Gesichtsorgan eingeschaltet befänden. Ganz in gleicher Weise kommt es bei den drei Zungennerven lediglich darauf an, welcher von ihnen die nöthigen peripherischen Endungen und Vorbaue und die nöthige centrale Endigungsweise hat, um die auf die ganze Zunge wirkenden Geschmackseindrücke aufzunehmen und zur bewussten Empfindung zu bringen. Der *hypoglossus* erfüllt diese Bedingungen jedenfalls nie, der *glossopharyngeus* stets und der *lingualis* zuweilen. Beide zuletztgenannte Nerven finden ihre peripherischen Sinnesorgane in den Wärzchen der Zunge, jener, der *glossopharyngeus*, hauptsächlich in denen der hinteren Zungenparthie (besonders den *papillis vallatis*), dieser, der *lingualis* des *trigeminus*, besonders in der vorderen Zungenparthie (den *papillis fungiform.* und *filiform.*). Wir haben schon oben auseinandergesetzt, dass die *papillae vallatae* den geeignetsten Bau zu besitzen scheinen, um Geschmackseindrücke aufzunehmen, dass aber auch die *fungiformes* ihrem Bau nach dazu ebenso befähigt erscheinen, wie

zur Aufnahme von Tasteindrücken, während die *filiformes* jedenfalls nicht geschickt für Geschmackseindrücke sind. An der Peripherie scheinen demnach beide Nerven die erforderlichen Einrichtungen zur Aufnahme von Geschmackseindrücken zu besitzen, in höherem Grade jedoch der *glossopharyngeus*, oder es scheinen wenigstens nur geringe Modificationen nöthig zu sein, um auch den *lingualis* zur peripherischen Empfangnahme von Geschmackseindrücken verwendbar zu machen. Die centrale Endigung beider Nerven kennen wir nicht genau, und wenn wir sie kennten, würden wir wahrscheinlich nicht wissen, ob sie geeignet wäre, Geschmackseindrücke zum Bewusstsein zu bringen; da indessen Geschmacks- und Tastempfindung offenbar näher verwandt sind, als Gesichts- und Tastempfindung, da wir ferner Uebergangsempfindungen kennen, die fast mit demselben Recht für Geschmacks- als für Tastempfindungen angesprochen werden können, so sind wahrscheinlich auch die centralen Vorrichtungen zur Vermittlung von Geschmacksempfindungen von denen der Tastempfindungen nicht wesentlich verschieden. Die Hauptsache bleibt demnach wahrscheinlich die peripherische Endigung, welche bei der Befähigung der Nerven zur Geschmacksvermittlung in Frage kömmt; und nach dieser scheint uns die Annahme, dass der *lingualis* nur zuweilen Geschmack vermitteln kann, dass er es besonders bei den Personen thun wird, welche auch an dem Vordertheil der Zunge schmecken, dass er vielleicht zur Aufnahme jener Mitteldinge zwischen Geschmacks- und Tasteindruck bestimmt ist, recht wohl zulässig. Ich für meine Person schmecke entschieden weder auf der Unterseite noch auf dem vorderen Theil des Zungenrückens, sondern lediglich in der Gegend der *papillae vallatae*, habe also auch keinen Grund, meinem *ramus lingualis trigemini* eine Betheiligung an meinen Geschmacksempfindungen zuzuerkennen.

§. 89.

Objecte des Geschmacks sind zunächst die Nahrungsmittel, Speisen und Getränke; wir theilen dieselben nach ihren Einwirkungen auf den Geschmackssinn in gewisse Geschmackscategorien, und diese wieder nach subjectivem Er-

messen in angenehme und unangenehme, in welcher Beziehung bekanntlich grosse Differenzen bei verschiedenen Personen obwalten. Der Geschmackssinn lehrt uns an den geniessbaren Dingen gewisse Eigenschaften empfinden, an denen wir sie wiedererkennen, und selbst ihre Menge, wenn sie anderen Stoffen beigemengt sind, schätzen können; er lehrt uns ferner übelschmeckende Substanzen von unseren Nahrungsmitteln ausscheiden. Man hat den Geschmack häufig als Wächter der Verdauung bezeichnet, dieser Satz hat jedoch nur in sehr beschränktem Sinne Geltung. Wollten wir uns lediglich an die Nährstoffe halten, welche auf das Geschmacksorgan keinen unangenehmen Eindruck machen, so würden wir theils manches trefflichen Nahrungsmittels uns entäussern müssen, theils häufig genug vergiftet werden. Denn erstens sind unter den Nahrungsmitteln solche, welche geschmacklos oder wenigstens ohne besonders angenehmen Geschmack sind, zweitens giebt es eine Menge giftiger Stoffe, welche entweder geschmacklos, oder sogar sehr angenehm schmeckend sind. Aetzende Säuren und Alkalien werden wir freilich mit der Zunge schon als schädlich erkennen, aber weniger mittelst des Geschmackssinnes als mittelst des Tastsinnes und des allgemeinen Gefühls. Der Geschmackssinn ist nur insofern Wächter der Verdauung, als er uns Substanzen, welche bestimmte charakteristische Eindrücke auf ihn machen, und welche wir aus anderweitigen Erfahrungen als zuträglich oder nachtheilig für den Organismus erkannt haben, an jenen Eindrücken erkennen und somit aufsuchen oder zurückweisen lässt. So erfahren wir durch den Geschmack den Blausäuregehalt gewisser Substanzen; der Geschmackseindruck der Blausäure ist aber ein angenehmer und würde uns an sich nicht bewegen, jene Substanzen zu verschmähen, wenn uns nicht andere Beobachtungen die Schädlichkeit derselben kund gemacht hätten.

Wie weit die Uebung die Feinheit des Geschmackssinns in Unterscheidung der kleinsten Geschmacksnuançen ausbilden kann, beweisen am besten die Weinkenner, welche oft im Stande sind, nicht nur den Berg, auf dem, sondern auch den Jahrgang, in dem ein Wein erbaut ist, herauszukosten.

Auch in der Chemie leistet der Geschmackssinn vortreffliche

Dienste als Reagens, indem wir gewisse Stoffe durch Kosten oft weit leichter und schneller erkennen, als durch Anwendung der gewöhnlichen chemischen Prüfungsmethoden.

Vom Geruche.

§. 90.

Unter Riechen verstehen wir die Fähigkeit der oberen Nasenschleimhaut, durch Vermittlung des *nervus olfactorius* gewisse nicht näher zu bezeichnende Qualitäten (Gerüche) gasförmiger oder fester aber flüchtiger Körper zu empfinden, sobald dieselben, in Gasform der Luft beigemengt, durch die Inspirationsbewegungen an der genannten Schleimhautfläche vorbei bewegt werden.

§. 91.

Entwicklung des Geruchsorgans in der Thierreihe.

Obwohl die Fähigkeit des Riechens vielen Wirbellosen nicht abzusprechen zu sein scheint, wie das Auffinden des Aases zur Nahrung und zum Eierlegen aus weiter Ferne wahrscheinlich macht, so ist uns das Organ des Geruches bei diesen Thieren doch fast völlig unbekannt, nur bei den Crustaceen kennt man in dem ersten Gliede der mittlern Antennen zwei kleine Höhlen, die mit Schleimhaut ausgekleidet sind, durch eine enge, oft mit Haaren besetzte Spalte sich nach aussen öffnen und einen eignen Nerven erhalten. Bei den Cephalopoden hat uns erst in der neuern Zeit Koelliker die richtige Deutung eines früher schon gekannten Organes als Geruchsorgan gegeben. Bei diesen Thieren finden sich nämlich in der Nähe der Augen zwei Gruben, in deren Grunde man bei mehrern Gattungen eine eigne, warzenartige Erhabenheit findet, in welcher wieder eine mit gefalteter Schleimhaut ausgekleidete kleine Höhle ist, und zu welcher Papille ein eigner, mit dem Sehnerven oder dessen Ganglien zusammenhängender Nerv verläuft.

Bei den Fischen findet man blinde, bald flachere, bald tiefere Nasengruben, die selten mit der Mundhöhle communiciren, noch seltner glöckchenartig gestaltet auf Stielen sitzen

(Lophius). Diese Gruben sind von einer oft kammartig und mehrfach gefalteten, mit Flimmerepithel belegten Schleimhaut ausgekleidet, in welcher der Geruchsnerv sich ausbreitet. Ob aber deshalb ein Geruch im Sinne der luftathmenden Säugethiere und des Menschen stattfindet, muss noch dahin gestellt bleiben, da im Wasser für uns kein Geruch vorhanden ist. So einfach auch bei den Amphibien das Geruchsorgan noch ist, so mündet es doch stets nach rückwärts in den Hintermund und ist mit flimmernder Schleimhaut ausgekleidet. Die Flächenvergrösserung wird durch Gruben und Faltung der Schleimhaut erreicht. Obgleich bei den Vögeln noch keine äussere Nase ausgebildet, ja bei *Sulo piscatrix* die äussere Oeffnung ganz fehlt (Schlegel), so treffen wir im Innern doch auf deutliche knorpelige Muscheln, von denen bald die obere, bald die mittlere, bald die untere mehr entwickelt ist. Knöcherne Muscheln kommen nur bei den *Rhamphasten* vor. Das Geruchsorgan der Säugethiere nähert sich immer mehr und mehr der menschlichen Form. Ein eigner oft mit den Lippen zusammenhängender Muskelapparat bewegt die an der äussern Nasenöffnung gelegenen Knorpel. Diese äussere Nase wird beim Schwein, Tapir und Elephant bekanntlich zum Rüssel ausgebildet. Die Fläche der innern Nase ist stets mit flimmernder Schleimhaut ausgekleidet und durch die, bei Grasfressern wenig, bei Raubthieren vielfach gerollten oder baumartig vertheilten Muscheln vergrössert. Der Riechnerv verbreitet sich auf der Scheidewand auf dem Siebbeine und den obern Muscheln, scheint aber bei einigen Delphinen ganz zu fehlen (R. Wagner). Bei den Säugethieren treten auch die Nebenhöhlen der Nase in sehr verschiedener Form und Grösse auf. Die Choanen fehlen nie.

§. 92.

Die Untersuchung der feinern Structur des Geruchsorgans (Tab. III. Fig. 5.), besonders in Bezug auf die feinere Verbreitung und die Endigung des Geruchsnerven ist bis jetzt auf unüberwindliche Schwierigkeiten gestossen, so dass man nur Folgendes aussagen kann. Die Schleimhaut der Nase ist ziemlich dick, wodurch der Raum in der Nasenhöhle und die

Eingänge in die Nebenhöhlen verengt werden. So weit sie auf Knochen liegt, trägt sie Flimmerepithelium (a), wo sie auf Knorpel liegt, Pflasterepithelium, und in ihrem Gewebe enthält sie eine ausserordentliche Menge in der Hauptsache schlauchartiger gewundener wenig zusammengesetzter Schleimdrüsen (b), welche von eigenen zellgewebigen Capseln (d) locker umgeben sind und mit kurzen, weiten Ausführungsgängen (c) ausmünden.

Noch völlig unbekannt ist das Verhältniss der letzten Endigungen des *nervus olfactorius* in dieser Schleimhaut, wir kennen in ihr keine den Tastwärzchen (Tastkörperchen) oder Geschmackswärzchen entsprechenden Bildungen, welche für die fraglichen Geruchsnervenenden das peripherische Sinnesorgan abgäben; und doch müssen wir das Vorhandensein solcher, wenn auch noch so einfacher Vorrichtungen annehmen, ohne welche der *olfactorius* eben so wenig Geruchseindrücke aufnehmen würde, als der *acusticus* ohne die Apparate des Vorhofs und der Schnecke die Schwingungen der Luft percipiren könnte. Die Fasern des *olfactorius* sind so zart, entziehen sich darum so leicht der Wahrnehmung, dass man noch nicht einmal das Ausbreitungsgebiet des Nerven im Allgemeinen genau kennt, geschweige die einzelnen Fasern bis unter die Schleimhautoberfläche, bis zu ihren fraglichen Theilungen und der endlichen Beschaffenheit der Aeste an dem Ort der Sinnesperception selbst hätte verfolgen können.

§. 93.

Gehn wir nun zu dem Vorgang des Riechens selbst über, so wissen wir aus vielfältiger Erfahrung, dass die Empfindung des Geruches oft ohne unsern Willen und ohne willkührliche Unterstützung auf uns eindringt. Indem die mit riechbaren Stoffen geschwängerte Luft beim Athmen durch die Nase geht, haftet das Riechbare an der Nasenschleimhaut, vermengt sich mit dem Schleime, dringt dadurch in das Innere der Schleimhaut, kommt mit den Nervenverbreitungen in Berührung und die Veränderungen, welche die Nervencylinder dabei erfahren, kommen als Geruchsempfindungen zum Bewusstsein.

Das vorsätzliche Riechen, Schnopern (Schnüffeln,

Spüren der Thiere) geschieht dadurch, dass durch den *M. levator alae nasi* und *compressor nasi* die Nasenflügel von der Nasenscheidewand entfernt und zugleich etwas gehoben werden, wir zugleich aber durch kurze stossweise Athemzüge durch die Nase die Luft mit einer gewissen Gewalt in die Höhle derselben stossen. Wollen wir dagegen, während wir uns in einer mit riechbaren Stoffen erfüllten Atmosphäre befinden, dieselben nicht riechen, so haben wir nicht nöthig den Zugang zur Nase zu verstopfen, sondern wir brauchen nur nicht durch die Nase zu athmen.

Diese erfahrungsmässigen Thatsachen leiten uns auf die Erörterung der Bedingungen, von denen das Zustandekommen einer Geruchsempfindung abhängt. Die erste und wichtigste ist natürlich, dass auf das Organ des Geruchs, von dem wir unten handeln werden, die Nasenschleimhaut, riechbare Stoffe einwirken; es fragt sich also zunächst, was macht einen Stoff riechbar, in welcher Form und Weise muss er auf das Geruchsorgan einwirken um empfunden zu werden? Welche Molecularverhältnisse die Theilchen einer Substanz befähigen, mit dem Nasennerven in Berührung gebracht, denselben zu der specifischen Geruchsempfindung anzuregen, welche Modificationen dieser Verhältnisse den mannigfachen Modificationen der Geruchseindrücke zu Grunde liegen, wissen wir eben so wenig, als wir angeben konnten, was einen Stoff schmeckbar macht, was die verschiedenen Geschmackseindrücke bedingt. Wir können, wie beim Geschmack, nur die Bedingungen angeben, unter welchen ein an und für sich riechbarer Körper einen Geruchseindruck hervorbringt. Wie wir oben erörtert haben, dass ein schmeckbarer Körper flüssig oder in Wasser löslich sein muss, um geschmeckt zu werden, so muss ein riechbarer Körper, um gerochen zu werden, ursprünglich gasförmig oder flüchtig sein, d. h. aus dem festen Zustand durch Wärme u. s. w. in den luftförmigen übergehen und als solcher der Nasenschleimhaut zugeführt werden. Diese Bedingung erscheint sehr natürlich, wenn man bedenkt, dass feste und tropfbar flüssige Stoffe im gewöhnlichen Leben dem Geruchsorgan nicht zugeführt werden; die Frage gestaltet sich daher so: Werden riech-

bare Stoffe wirklich nur gerochen, wenn sie in Luftform in die Nase kommen, oder ist die Luftform nur nöthig, sie überhaupt zur Nase zu bringen? Werden riechbare, in Wasser gelöste Stoffe auch gerochen, wenn die Lösung in die Nase gebracht wird? Die Frage ist nicht so leicht zu entscheiden, als man glauben sollte. Bringt man feste Körper in die Nase, so erzeugen sie Geruchsempfindungen, sobald sie flüchtig sind, und demnach in Gasform sich der die Nasenhöhle erfüllenden Luft beimengen (vorausgesetzt, dass sie überhaupt riechbar sind, denn nicht jeder flüchtige Körper riecht, sowie nicht jeder flüssige schmeckt). Ein fester oder flüssiger Körper, welcher nicht flüchtig ist, erzeugt nie Geruch, wenn man ihn in die Nase bringt. Die Fähigkeit, sich in Gasform zu verwandeln ist wesentliche Bedingung der Riechbarkeit, es bleibt daher nur noch zu untersuchen, ob die in Gasform verwandelten Körper auch dann noch riechbar sind, wenn Flüssigkeiten mit diesem Gas imprägnirt auf die Nasenschleimhaut gebracht werden. *A priori* sollte man eine bejahende Antwort auf diese Frage erwarten: erstens weil wir annehmen müssen, dass die luftförmigen Riechstoffe in der Nase stets erst von der die Epithelialschicht imprägnirenden Feuchtigkeit aufgenommen werden müssen, um zu den Enden der Riechnerven zu gelangen, zweitens, weil viele Körper nur dann erst riechbar werden, wenn sie befeuchtet werden, wenn also ihre riechbaren Dünste zugleich mit Wasserdünsten entwickelt werden, drittens, weil auch im Wasser lebende Thiere oft lebhafte Empfänglichkeit für Geruchseindrücke zeigen.

Bidder [1]) spricht zwar letzterem Grund alle Bedeutung ab, weil z. B. das Wahrnehmen eines Köders von Fischen auch auf Gesichts- oder Geschmacksempfindung beruhen könne, dies dünkt uns jedoch sehr unwahrscheinlich, wenn man die Entfernungen, auf welche Fische Lockspeisen wahrnehmen in Anschlag bringt, Entfernungen, welche wohl schwerlieh dem Auge in trübem Wasser durchgängig sind, durch welche noch weit weniger eine schmeckbare Lösung der fraglichen Substanzen in kurzer Zeit vorgedrungen sein könnte.

Direct auf experimentellem Wege ist die Frage noch nicht entschieden worden und auch sehr schwer zu entscheiden.

---

1) Bidder: das Riechen, Wagner's Hdw. d. Phys. II. p. 919.

Bringt man Lösungen riechbarer Stoffe in die Nase und riecht dieselben, so kann die Geruchsempfindung auch durch die von der Lösung in die Luft der Nasenhöhlen ausgeströmten Dünste verursacht werden. Wollte man die Nase ganz anfüllen, so dass alle Luft ausgetrieben würde, so fehlte wieder ein anderes Moment, welches, wie wir unten sehen werden, zum Zustandekommen des Geruchs unerlässlich ist, d. i. die Bewegung der riechbaren Substanz durch die Räume des Geruchsorgans. Einen die Nase ganz ausfüllenden Strom riechbarer Flüssigkeit schnell durch die Nase durchzutreiben, dürfte aber schwer ausführbar sein. Wir müssen uns daher vorläufig mit dem Satze begnügen, dass nur luftförmige oder flüchtige Körper riechbar sind, dass aber noch unentschieden ist, ob die luftförmigen Riechstoffe nur als solche der Atmosphäre beigemengt, oder auch, wenn sie in Lösungen mit dem Geruchsorgan in Berührung gebracht werden, Geruchseindrücke hervorzubringen im Stande sind.

Wir haben schon erwähnt, dass nicht alle gasförmigen und flüchtigen Körper riechbar sind, dass nicht alle solche jene unbekannte innere Constitution, die das Riechbare ausmacht, besitzen; ist ja die verbreitetste Gasart: die atmosphärische Luft geruchlos, wie ihre näheren Bestandtheile: Sauerstoff und Stickstoff. Es giebt aber auch eine Menge von flüchtigen Körpern, welche in der Nase Empfindungen erregen, die zwar gewöhnlich als Geruchsempfindungen bezeichnet werden, welche aber ebenso wie gewisse Eindrücke auf das Geschmacksorgan dem Wesen nach Tastempfindungen sind. So sprechen wir von einem scharfen, stechenden Geruch, wenn wir z. B. Dämpfe ätzender Substanzen einathmen; die stechende Empfindung beim Einathmen von Aetzammoniak durch die Nase, gehört aber entschieden der Erregung der Tastnerven und nicht der des *olfactorius* an. Die Verwechselung solcher Tastempfindungen mit Geruchsempfindungen ist aber um so erklärlicher, da die meisten solcher Körper (wie Aetzammoniak, schweflige Säure etc.) zu gleicher Zeit auf die Tastnerven und die Geruchsnerven Eindrücke machen.

Die verschiedenen Arten der Gerüche gehören nicht in eine physiologische Betrachtung, da wir das Wesen derselben,

die Ursachen ihrer Differenzen nicht im mindesten kennen; dieselben sind untereinander so verschieden und so mannigfaltig, dass wir sie nicht einmal wie die Geschmacksempfindungen in gewisse Hauptkategorien: bitter, süss, sauer, unterzubringen wissen, sondern jeden bestimmten Geruchseindruck nach einer Substanz, welche denselben oder einen ähnlichen hervorbringt, in der Sprache bezeichnen. Wir können ferner keine Rechenschaft geben, warum diese Substanz eine äusserst intensive, jene eine sehr schwache Geruchsempfindung verursacht; im Allgemeinen gilt zwar der Satz, dass je flüchtiger ein Riechstoff, desto leichter und vollkommner die Ausbreitung seiner Riechpartikelchen in der Atmosphäre, desto leichter, desto stärker und aus desto grösserer Entfernung er daher dem Geruchsorgan wahrnehmbar ist; während wenig flüchtige Stoffe nur die nächste Luftschicht mit einer geringen Menge riechbarer Molecüle erfüllen, und daher nur schwächer, nur in grösserer Nähe gerochen werden. Allein es giebt auch äusserst flüchtige Stoffe, welche sehr schwache, und weniger flüchtige, welche sehr intensive Geruchsempfindungen hervorrufen, es giebt solche, welche in äusserst geringen Mengen der Luft beigemengt einen weit stärkeren Geruchseindruck erzeugen, als andere in grösseren Mengen verflüchtigt. Der Grad der Flüchtigkeit ist demnach nicht der alleinige Massstab für die Intensität des Geruches einer Substanz. Die Geruchsintensität eines und desselben Stoffes kann durch verschiedene Momente verstärkt und geschwächt werden; viele dieser Momente wirken nur dadurch, dass sie die Verflüchtigung des riechenden Princips begünstigen oder hemmen, so Wärme und Kälte, Reibung, bewegte Luft. Glühhitze zerstört allen Geruch, poröse Körper (Thierkohle) absorbiren ebenfalls in hohem Grade die Riechstoffe.

Die Gerüche der verschiedenen Substanzen unterscheiden sich aber nicht nur durch die Intensität, sondern auch durch die Dauer, mit welcher sie sich erhalten, es giebt Substanzen, welche zwar intensiv riechen, aber bald „verriechen", während andere selbst in den geringsten Mengen sehr lange Zeit ihren specifischen und gleichfalls intensiven Geruch verbreiten (Moschus).

Wie bei den Geschmacksempfindungen, so können wir auch bei den Geruchsempfindungen fragen, welche Quantitäten der verschiedenen Riechstoffe nöthig sind, um für den Geruchssinn noch wahrnehmbar zu sein. Dass diese Quantitäten für „starkriechende" Substanzen äusserst gering sein werden, lässt sich schon aus der bekannten Erfahrung folgern, dass es hinreichend ist, einen mit Moschus imprägnirten Gegenstand nur flüchtig zu berühren, um dennoch lange Zeit darnach zu riechen. Valentin[1]), welcher ausführliche Versuchsweisen über diese quantitativen Verhältnisse für gewisse Substanzen angestellt hat, giebt für den Moschus an, dass 45 Milligramm einer Flüssigkeit, welche $\frac{1}{43500}$ Milligramm eines weingeistigen Auszuges von Moschus enthalten, noch deutlich darnach riechen, dass oft nach 1 Grm. einer Flüssigkeit, welche $\frac{1}{2000000000}$ ihres Gewichtes von jenem Auszug enthält, erwärmt nach Moschus riecht.

Wir kommen zu einem andern Umstand, von welchem das Zustandekommen einer Geruchsempfindung abhängig ist, nachdem wir als erste Bedingung die Flüchtigkeit des seiner inneren Constitution zufolge riechbaren Stoffes kennen gelernt haben. So wie die Bewegung der Zunge gegen den harten Gaumen ein wesentliches Beförderungsmittel für die Erzeugung einer Geschmacksempfindung ist, so ist noch weit mehr die Bewegung der mit Riechstoff imprägnirten Luft über die riechende Schleimhautfläche zur Hervorbringung einer Geruchsempfindung nöthig. Eine noch so stark mit intensiven Riechstoffen geschwängerte Luft erregt keine Geruchsempfindung, sobald sie in ruhender Berührung mit der Nasenschleimhaut ist; sie erregt sogar dann noch keine Geruchsempfindung, wenn sie durch äussere Luftströmung in die Nase getrieben wird sondern nur dann, wenn sie mittelst der Athembewegungen durch die Nase gezogen wird. Daher kommt es, dass wir in einer riechenden Atmosphäre nicht riechen, sobald wir den Athem anhalten, oder wenigstens nicht durch die Nase athmen; daher kommt es, dass wir z. B. Aetzammoniak unter der Nase verdunsten lassen können, ohne es zu riechen, so lange wir die Dünste nicht mittelst eines Athemzuges in die Nase ziehen, dass wir sogar in die Nase eingeblasene Riechstoffe bei verhaltenem Athem nicht riechen. Die Erklärung dieser eigenthüm-

---

1) Valentin, Lhrb. d. Phys. II. p. 282.

lichen Bedingung des Riechens hängt wesentlich mit dem Mechanismus unseres Riechorgans, der Nase, zusammen, den wir im folgenden Paragraphen zu erörtern haben.

§. 94.

Es ist eben so wenig die ganze Oberfläche der Nasenschleimhaut zur Aufnahme von Geruchseindrücken fähig, als die ganze Zungenschleimhaut zur Aufnahme von Geschmackseindrücken. Die eigentliche Riechprovinz besteht nur in dem Schleimhautüberzug der beiden oberen Muscheln des Siebbeins und vielleicht des oberen Theiles der Scheidewand; nur diese werden von dem specifischen Geruchsnerven versorgt, während sich auf der unteren Muschel hauptsächlich die Fäden der Tastnerven ausbreiten. Dennoch ist die untere Muschel unentbehrlich für das Zustandekommen von Geruchsempfindungen. Verlust derselben zieht ebenso Verlust des Riechvermögens nach sich, als Mangel der oberen Muscheln; wird mittelst eines Röhrchens ein Riechstoff den oberen Muscheln zugeblasen, so, dass er die untere Muschel gar nicht berührt, so wird er gar nicht oder nur äusserst schwach empfunden. Es fragt sich daher, welche Hülfsverrichtung die untere Muschel leistet, auf welche Weise sie die Wahrnehmung von Geruchseindrücken vermittelt. Es ist zwar leicht gesagt: die untere Nasenmuschel leitet die eingezogenen Luftströme den oberen Muscheln auf eine geeignete Weise zu, allein der Nachweis, auf welche Weise sie diese mechanische Function ausübt, ist nicht so leicht geführt. Es gehört dazu vor allen Dingen eine genaue Vergegenwärtigung der Form und Lage des fraglichen Theils. Denken wir uns die untere Muschel weggenommen, so wird die eingeathmete Luft auf kein Hinderniss stossen, und auf dem nächsten Wege vom Naseneingang dem Nasenausgang (den Choanen) also auf dem Boden der Nasenhöhle hin zuströmen, ohne sich mit den in den oberen Nasenregionen stagnirenden Luftschichten zu mengen, ohne ihre Riechstoffe mit der Schleimhaut der oberen Muscheln in Berührung zu bringen. Die untere Muschel bildet in jedem Fall ein Hinderniss für den eintretenden Luftstrom, sie hat in jedem Fall, wie schon eine oberflächliche Betrachtung ihrer Lage und Form lehrt, Einfluss

auf die Richtung desselben; es fragt sich nun, von welcher Art derselbe ist. Er hängt offenbar ab von der Richtung, in welcher der Luftstrom die Muschel trifft. Ist derselbe so gerichtet, dass er von unten die fragliche Muschel, ihre untere concave Fläche trifft, so wird er schwerlich durch sie den oberen Muscheln zugeleitet, sondern noch viel mehr als bei mangelnder Muschel dem Boden der Nasenhöhle zugerichtet, auf diesen eingeengt, er wird sich dann in der Muschel wie in einem Schirm fangen. Ist er dagegen so gerichtet, dass er die obere Fläche der unteren Nasenmuschel trifft, so wird er nothwendig auf dieser nach innen und vorn geneigten schiefen Ebene in das Fächerwerk der oberen Nasenmuscheln einströmen müssen. Die Richtung des in die Nase eingeathmeten Luftstroms ist natürlich hauptsächlich durch die Form des Naseneinganges bedingt. Wären die Nasenlöcher gerade nach vorn gerichtet, bildete der Naseneingang einen (respective zwei) gerade von vorn nach hinten gehende Trichter, so würde auch der Luftstrom diese Richtung nehmen und, vorausgesetzt, dass die Trichter in der Höhe des Bodens der Nasenhöhle angebracht wären, auf diesem hinströmen, die Unterseite der unteren Muschel würde ihn von den oberen Nasenräumen abhalten. So aber sind die Nasenlöcher gerade nach unten gerichtet, der Naseneingang bildet einen schräg von unten und vorn nach oben und hinten gehenden Trichter; der Luftstrom wird daher beim Eintritt in die Nase diese Richtung erhalten, und sie in derselben um so mehr beibehalten, mit je grösserer Kraft die Inspiration geschieht. In dieser Richtung trifft er unfehlbar den nach vorn und unten gerichteten Rand der unteren Muschel und deren obere Fläche, indem er an ersterem sich bricht, wird nur ein Theil im untersten Nasenwege direct den Choanen zuströmen, der grösste Theil aber der Geruchsprovinz zugeleitet werden. Beim gewöhnlichen ruhigen Athmen wird der Luftstrom die durch den Naseneingang gegebene Richtung in der Nase schneller verlassen und zum grössten Theil direct nach hinten abströmen.

Wollen wir eine deutliche Geruchsempfindnng erhalten, so ziehen wir die riechbare Luft in wiederholten kurzen, kräftigen Inspirationen in die Nase; die dabei eintretende Action der Nasen-

flügelmuskeln scheint mir weniger den Zweck zu haben, die Nasenlöcher zu erweitern, um mehr Luft auf einmal einzulassen, als vielmehr die Form und Richtung des Naseneinganges so zu verändern, dass der Luftstrom noch mehr die Richtung nach vorn und oben erhält. Wenigstens wird bei mir bei jeder solchen Inspiration das Nasenloch nicht weiter, sondern enger und zwar besonders in seinem hinteren Umfange. Werden, wie manche beim intentirten Riechen (Schnopern) thun, die Nasenflügel stark in die Höhe gezogen, so treten, wie man sich leicht überzeugen kann, noch günstigere Bedingungen für die Direction des Luftstroms nach den oberen Nasenräumen ein, indem das Nasenloch dadurch sogar etwas nach hinten gerichtet wird.

Ob nun die angedeutete Function der unteren Nasenmuschel ihre einzige Bestimmung ist, lässt sich nicht entscheiden, ist aber unwahrscheinlich, da nach Bidder's Versuchen ein riechender Luftstrom direct auf die oberen Muscheln, ohne die unteren zu berühren, geblasen, keine deutliche Geruchsempfindung erzeugt. Es scheint demnach als habe die untere Muschel noch irgend eine andere Veränderung an dem eingezogenen Strome zu bewirken, um ihn zur Sinnesperception vorzubereiten. Bidder[1]) glaubt, dass dieselbe in einer feinen Vertheilung in kleine Luftströmchen, die dann von vielen Seiten her den oberen Muscheln zugeleitet würden, bestehe, dass diese Vertheilung durch die mannigfachen Schleimhauterhebungen bewirkt werde. Dies ist jedoch nur Vermuthung, für welche ein thatsächlicher Beweis noch fehlt. Den vielen Schleimhautfalten der unteren Muschel kann man, glaube ich, mit grösserem Recht den Zweck einer Vergrösserung der mit Tastsinn (oder Gemeingefühl) begabten Oberfläche zuschreiben, und zwar aus folgendem Grunde. Es giebt eine Menge flüchtiger oder gasförmiger Substanzen, welche neben Geruchseindrücken noch Tasteindrücke hervorrufen, sobald sie respirirt mit Schleimhäuten in Berührung kommen, z. B. Ammoniak, schweflige Säure; und zwar sind diese Tasteindrücke meist unangenehmer Art und von nachtheiligen Einwirkungen auf die Respirationsschleimhaut be-

1) Bidder, Wagner's Hdw. der Phys. Bd. II. p. 921.

gleitet. Es ist daher wichtig, dass dieselben bereits in der Nase empfunden werden, und somit die Gegenwart jener Stoffe in der Atmosphäre angezeigt wird, bevor sie in die Respirationsorgane selbst eindringen. Wäre das Tastvermögen der Nase wie der Geruch nur auf die oberen Muscheln beschränkt, so würden solche Stoffe beim ruhigen Athmen ungefühlt, wie ungerochen die unteren Nasenräume passiren, und sich erst in den tieferen Luftwegen bemerklich machen. Es ist darum das Gefühl der Nase auf die unteren Parthien, auf die untere Muschel, an welcher kein Luftstrom unbemerkt vorüberziehen kann, verlegt. Die Vergrösserung ihrer Oberfläche zu dem Zweck der feineren und sicheren Perception von Tasteindrücken scheint mir demnach sehr natürlich.

Es geht aus Alledem hervor, dass wir überhaupt eine vollständige Mechanik des Riechens noch nicht zu geben im Stande sind, dass wir insbesondere die Function der unteren Muschel, ihre Betheiligung bei der Vermittelung von Geruchsempfindungen noch nicht sicher eruirt haben.

Schliesslich haben wir noch die Frage zu beantworten, ob die Nebenhöhlen der Nase in irgend einer Beziehung zu ihrem Riechvermögen stehen. Die Antwort darauf ist entschieden: Nein; und zwar ebensowohl aus aprioristischen als aus thatsächlichen Gründen. Einmal wären sie bei dem einfachen und engen Communicationswege mit der Nase, bei ihrem Mangel an elastischen durch Muskelaction zu erweiternden und verengenden Wandungen, sehr unpassend construirt zur Aufnahme und Ausstossung von Luftströmen, ohne welche eine Geruchsempfindung nicht möglich ist; zweitens ist auf experimentellem Wege und durch Beobachtungen an solchen, deren Nebenhöhlen (*antra Highmori*) bei Operationen nach aussen geöffnet waren, hinreichend erwiesen, dass der Schleimhaut der genannten Höhlen die Fähigkeit, Geruchseindrücke zu empfinden gänzlich abgehe. Ob sie blos dazu da sind, die Knochen des Gesichtes leichter zu machen, was sehr unwahrscheinlich ist, oder ob ihre Hauptaufgabe, worauf schon ihre Schleimhautauskleidung mit Bestimmtheit hinweist, die Lieferung eines Secretes ist, wäre es auch nur zur steten Feuchterhaltung der leicht austrocknenden Nasen-

schleimhaut bestimmt, ist noch nicht entschieden und gehört strenggenommen nicht in die Lehre vom Geruchssinn.

§. 95.

Dass das erste Gehirnnervenpaar, die *nn. olfactorii* wirklich die specifischen Sinnesnerven für die Geruchsempfindungen sind, kann keinem Zweifel unterliegen; ihr anatomisches Verhalten, das physiologische Experiment und pathologische Erfahrungen liefern einstimmig hinreichende Belege dafür. Der anatomische Beweis liegt in der ausschliesslichen Verbreitung des *olfactorius* auf den oberen Nasenwänden, in der vergleichend anatomischen Thatsache, dass dieser Nerv bei verschiedenen Thieren stets der Feinheit des Geruchssinnes proportional entwickelt gefunden wird. Das physiologische Experiment besteht in der Durchschneidung des *olfactorius* bei Thieren; obwohl es schwierig ist, Abstumpfung oder Verlust des Geruchssinns nach dieser Operation mit Sicherheit zu beobachten, so sind doch die Ergebnisse der Versuche unzweideutig genug, um mit Recht daraus die genannte Bedeutung des *olfactorius* zu erschliessen. Magendie[1]) glaubte zwar aus seinen Experimenten abnehmen zu dürfen, dass auch der *trigeminus* Geruchsempfindungen vermittle, weil die Thiere nach Durchschneidung des ersten Gehirnnerven noch auf die Einwirkung flüchtiger scharfer Substanzen, wie Aetzammoniak und Essigsäure auf die Nasenschleimhaut reagirten; es ist aber aus dem oben Gesagten leicht einzusehen, dass Magendie's Irrthum auf einer Verwechslung von Tasteindrücken mit Geruchseindrücken beruht. Die Hunde liessen nach Zerstörung des *olfactorius* Fleisch, wenn es in Papier eingewickelt war, unberührt liegen, gewiss ein entschiedener Beweis für den Verlust des Geruchssinns, sie niesten aber und kratzten an der Nase, wenn sie gezwungen wurden, Dämpfe von Ammoniak etc. einzuathmen, weil durch die unangenehme Einwirkung dieser Substanz auf die Tastnerven der Nase jene reflectorischen Bewegungen hervorgerufen wur-

1) Magendie, *Précis élémentaire de phys.* 4. *edit. I. p.* 160. *Journ. de physiol. IV. p.* 170.

den. Diese Versuche sind von andern Forschern vielfach wiederholt worden und haben stets dasselbe Resultat gegeben: dass nur bei unverletztem Verlaufe des *olfactorius* von der Nase zum Gehirn eine wahre Geruchsempfindung zu Stande kömmt.

Noch sicherere unzweideutigere Beweise dafür geben die zahlreichen pathologischen Erfahrungen an Menschen. Angeborner Mangel, Zerstörung oder Entartung des *n. olfactorius* ist stets mit Mangel des Geruchssinns verbunden, während die Empfänglichkeit der Nasenschleimhaut für Tasteindrücke ungestört fortbesteht. Bei Druck auf den Stamm des Riechnerven durch Exsudate, Geschwülste etc. wird constant entweder Verlust des Geruches oder das Auftreten subjectiver Geruchsempfindungen beobachtet. Eine Sammlung der hierher gehörigen Fälle findet sich bei Longet[1]). Wenn einige Beobachter bei Verletzungen oder Entartungen des Nasenastes des *trigeminus* neben der Anästhesie zugleich eine beträchtliche Abstumpfung des Geruchssinns bemerkt haben wollen, so darf man den Grund dieser Annahme wohl auch in einer nicht gehörig scharfen Unterscheidung von Tast- und Geruchseindrücken suchen.

§. 96.

Wie der Geschmackssinn so hat auch der Geruchssinn verschiedene Grade von Feinheit bei verschiedenen Menschen; noch weit grössere Differenzen finden sich in dieser Beziehung bei den verschiedenen Thieren, bei denen überhaupt weit höhere Grade von Feinheit des Geruchs sich finden, als je beim Menschen; wir brauchen nur an die Tragweite des Geruchs der Raubthiere zu erinnern. Dass wir durch Uebung unseren Geruchssinn verfeinern, d. h. unsere Aufmerksamkeit auf geringere Nuançen von Geruchseindrücken schärfen, und somit dieselben leichter unterscheiden lernen, lehrt die tägliche Beobachtung. Tabakgourmands liefern hierfür ebenso den besten Beleg, wie Weinschmecker für den verfeinerten Geschmackssinn. Abgestumpft wird der Geruchssinn durch ganz ähnliche Einflüsse, wie der Geschmack, durch anhaltende Einwirkung starker Gerüche, be-

---

1) Longet, Anat. u. Phys. des Nvsyst. v. Hein II. p. 29.

sonders natürlich durch pathologische Veränderungen des Geruchsorgans, der Nasenschleimhaut. Zu grosse Trockenheit, wie zu starke Secretionsthätigkeit derselben erschweren oder verhindern die Perception der respirirten Riechstoffe, wie sich jeder beim einfachen Nasencatarrh überzeugen kann.

Die Beurtheilung der empfundenen Geruchseindrücke unterliegt ebenso vielen subjectiven Verschiedenheiten bei verschiedenen Personen, als die der Geschmackseindrücke. Wenn auch alle Menschen darüber einig sind, dass Schwefelwasserstoffgas stinkt, so giebt es doch eine Menge von Riechstoffen, über deren ästhetischen Werth die Meinungen sehr getheilt sind, so dünkt den Einen Moschus wohlriechend, den Anderen übelriechend; da wir aber diese Differenzen nicht auf physiologische Principien zurückführen können, interessiren sie uns hier nicht weiter.

Man hat den Geruchssinn als Wächter der Respiration bezeichnet, so wie man dem Geschmackssinn das Wächteramt für die Verdauung vindicirte. Ersterer Satz ist jedoch ebenso, wie wir dies für letzteren nachgewiesen haben, nur in einem sehr beschränkten Sinne gültig. An und für sich giebt uns wohl kaum ein einziger Geruchseindruck Aufschluss über Zuträglichkeit oder Schädlichkeit einer respirirten Luftart für die Respirationsorgane. Viele schädliche Gasarten und Dämpfe sind geruchlos, andere riechen sehr angenehm, z. B. Blausäure, Schwefeläther, endlich können auch an sich unschädliche Wohlgerüche durch zu langes Einathmen nachtheilig wirken, wie starke Blumendüfte. Dazu kommt, dass schwach riechende Substanzen, mögen sie schädlich oder unschädlich sein, beim gewöhnlichen ruhigen Athmen oft ganz unbemerkt die Nase passiren und nur beim intentirten Riechen mit verstärkter Inspiration durch die Nase wahrgenommen werden. Es kömmt ferner dazu, dass die Urtheile verschiedener Personen über Annehmlichkeit oder Unannehmlichkeit eines Geruches so ausserordentlich verschieden, oft gerade entgegengesetzt sind. Mit viel grösserem Rechte könnte man den Tastsinn der Nase als Wächter der Respiration betrachten. Denn erstens sind alle die Dämpfe, welche den Tastsinn der Nase unangenehm berühren, wirklich irrespirabel und grösstentheils die nachtheiligsten von allen, zweitens rufen

dieselben von den Tastnerven der Nase aus meist ohne unser Zuthun solche reflectorische Bewegungen hervor, welche die schleunigste Entfernung derselben aus den Luftwegen zum Ziel haben, wie das Niesen und Husten; drittens endlich entgeht den Tastnerven der Nase viel weniger leicht die Gegenwart von Stoffen, für welche sie empfänglich sind, in der respirirten Luft, als den Geruchsnerven die Gegenwart von Riechobjecten. Im Grund ist übrigens mit derartigen teleologischen Interpretationen unserer Sinne für die Physiologie wenig oder nichts gewonnen. Es genügt zu wissen, dass wir in dem Geruchssinn ein Mittel mehr besitzen, die Aussenwelt in uns aufzunehmen, die uns umgebenden Dinge an gewissen Eigenschaften zu erkennen, um auf die von ihnen erhaltenen Eindrücke willkührlich zu reagiren. Wir erkennen die Blausäure am Geruch, wissen aus Erfahrung, dass dieselbe giftig ist, und werden demnach, falls es noch Zeit ist, die von einer blausäurehaltigen Atmosphäre empfangenen Geruchseindrücke als Warnung für ihre weitere Inspiration benutzen. Es bedarf aber keiner weitläufigen Erörterung, dass es nicht die einzige Bestimmung des Geruchssinns ist, uns Eindrücke von der Aussenwelt zu verschaffen, damit wir über die Zuträglichkeit oder Schädlichkeit der uns umgebenden Medien für die Respiration urtheilen können. Es ist ein entschieden wichtigerer und reellerer Nutzen dieses Sinnes, dass er Menschen und Thieren ihre Nahrung erkennen und aufsuchen hilft; bei vielen Thieren, insbesondere den im Wasser lebenden, ist dies gewiss die einzige Bestimmung des Geruchssinnes.

Vom Gehöre.

§. 97.

Unter Gehör verstehen wir die durch den *nervus acusticus* vermittelte Perception der Schwingungen der Materie, welche nicht unter 7 und nicht über 24000 Stösse in der Sekunde betragen. Die Schwingungen der tönenden Körper müssen, um gehört zu werden, durch das Medium, welches zwischen dem tönenden Körper und unserem Gehörorgan, dem Ohre, sich be-

findet, sei dieses die Luft, oder flüssige, oder feste Körper, bis zu unserem Ohre fortgepflanzt und in diesem durch die eigenthümlichen Sinnesapparate auf eine geeignete Weise auf die Enden des Gehörnerven übertragen werden.

§. 98.

Entwicklung des Gehörorgans in der Thierreihe.

Das Gehörorgan ist, wie aus der Anatomie als bekannt vorausgesetzt werden muss, ein sehr complicirter Apparat, dessen allmählige Entwicklung in der Thierreihe höchst interessant ist, da es bei den niederen Thieren sehr einfach anfängt und mit Vervollkommnung der Gesammtorganisation der Geschöpfe immer mehr und mehr schrittweise an Ausbildung und Vollkommenheit zunimmt, indem theils der früher schon vorhandene einfache Apparat, welcher nur die wesentlichsten Bedingungen für das Zustandekommen einer Gehörempfindung auf das einfachste erfüllt, sich complicirt, theils neue Hülfsapparate hinzutreten, die selbst auch wieder ganz einfach anfangen und später sich vervollkommnen. Das Wesentlichste und Nothwendigste des Gehörorgans ist ein einfaches mit Flüssigkeit gefülltes Bläschen, an dessen Wänden sich die Enden des Gehörnerven ausbreiten. Die Häufigkeit der in diesem Bläschen auch in seinen niedrigsten Formen vorkommenden krystallinischen Concretionen von kohlensaurem Kalk, Otholithen, scheint zu beweisen, dass auch sie eine wesentliche Bedingung für die Perception der Schallwellen erfüllen. Diese einfachste Form glaubt man schon in den knopfförmigen oder zungenförmigen Anhängen am Körperrande der Quallen wiederzufinden. Sicherer ist ein ähnlicher Bau und zwar überall im Innern des Körpers bei den Ringelwürmern, bei den Lamellibranchien der Acephalen und den Cephalophoren, während bei den Polypen und Echinodermen noch kein als Gehörorgan deutbarer Apparat entdeckt worden ist. Schon complicirter wird das Gehörorgan unter den Crustaceen bei den Decapoden; diese tragen nämlich an dem ersten Gliede des äussern Fühlerpaares einen hohlen, kegelförmigen Vorsprung, dessen Oeffnung mit einer Membran

verschlossen ist, d. i. die erste Andeutung einer Pauke mit dem Trommelfelle. Hinter dieser Höhle findet sich in dem Cephalothorax ein wasserhelles Bläschen, welches einen eignen Nerven erhält und mit jener Trommelhöhle zusammenhängt. Während man bei den meisten, gewiss hörenden Insekten das Gehörorgan nicht kennt, ist man in der neueren Zeit bei einigen Orthopteren mit einem ziemlich vollkommenen akustischen Apparate bekannt geworden, welchen z. B. die Locusten an den Tibien beider Vorderbeine dicht unter dem Knie haben. Hier findet man nämlich bei diesen Thieren eine Grube, oder eine mit einer Oeffnung versehene Kapsel, in dieser ein Trommelfell, hinter welchem der Tracheenstamm des Gliedes zu einer Art Trommelhöhle sich aufbläher, um dann gleich einer Eustachischen Trompete an dem hintern Rande des Cephalothorax auszumünden. An dieser Paukenhöhle schwillt der mit dem Schenkelnerven herablaufende Hörnerve zu einem Knoten an, von dem eine Menge Nervenfäden über die Tracheenblase weglaufen, sich dann mit einer Reihe wasserheller Bläschen belegen, die man mit dem Vestibulum vergleichen muss. War in diesen Fällen besonders die Paukenhöhle das Ziel der Entwicklung, so sehen wir dagegen bei den Cephalopoden eine Vorbereitung des Labyrinthes. Bei diesen findet man nämlich in dem Kopfknorpel auf jeder Seite eine Höhle, die bei Einigen im Innern glatt, bei Andern mit ziemlich starken Leisten und Vorsprüngen als Andeutung des künftigen knöchernen Labyrinthes versehen sind. In diesem liegt ein Bläschen, das in seiner Gestalt der knorpeligen Höhlung entspricht, d. i. häutiges Labyrinth und zu dem ein starker Nerv aus dem Hirntheile des Schlundringes geht. Im Innern findet sich auch hier ein Otolith.

Obgleich bei den Fischen das Gehörorgan eine ziemliche Ausbildung erlangt, so steht es in den niedrigen Familien doch tiefer, als wir es schon gesehen haben, es fängt gleichsam seinen Entwicklungslauf noch einmal an, ja scheint bei Branchiostoma ganz zu fehlen. Das Labyrinth hat seine zwar sehr einfache, aber doch auf künftige Vervollkommnung vorbereitende Form, als ringförmiges Rohr (d. i. *vestibulum* und ein Halbkanal) mit einem Nerven, beides in einer besondern Kapsel

bei den Myxinoiden, bei Petromyzon erlangt das Vestibulum mehrere Abtheilungen und zwei Halbkanäle mit Nerven aber ohne Otolithen. Ein deutliches häutiges Labyrinth in einem knorpeligen mit Endolympha und Perilympha und kreideartigen Otolithen finden wir bei den Plagiostomen, welches bei den Knochenfischen mit einem *Saccus lapillosus* vermehrt wird; auch erhalten die Kanäle nun die Ampullen und ihre rechtwinkelige Stellung zu einander. Interessant ist noch, dass bei den meisten Knorpelfischen das Labyrinth durch einen Fortsatz direct mit der äusseren Haut in Verbindung steht.

Das bei den Fischen erworbene Labyrinth wird bei den Amphibien nicht allein beibehalten, sondern auch wesentlich vervollkommnet, indem es bei den nackten Amphibien ein ovales Fenster und bei den beschuppten den ersten Anfang der Schnecke als rundliches Säckchen mit einem runden Fenster erhält, das bei den Krokodilen sich in einen kurzen, blinden, am Ende etwas erweiterten Kanal ausbildet, der eine *Scala vestibuli* und *tympani* mit rundem Fenster und *membrana tympani secundaria* hat, und durch einen kurzen engern Kanal mit dem *Sacculus vestibuli* zusammenhängt. Auch die Paukenhöhle mit ihren Nebentheilen erlangt eine ziemliche Ausbildung. Auf dem ovalen Fenster finden wir bei vielen glatten Amphibien nur ein knorpeliges Deckplättchen, als erste Spur der künftigen Gehörknöchelchen, welches oft noch von Muskeln und Haut verdeckt wird, doch schon bei manchen Batrachiern erhebt sich die Umgebung zu einer knorpeligen, von einem Trommelfelle verschlossenen Paukenhöhle, das Deckelchen wird zu einem Säulchen, das endlich bei den Cheloniern in drei einzelne Knöchelchen zerfällt. Bei den Krokodilen wird die Pauke nicht allein von knöchernen Wänden umgeben, sondern es bildet sich auch äusserlich eine Art doppelter Klappe als Anfang zum äussern Ohr. Wo eine Pauke ist, ist auch eine kurze Tuba.

Das Labyrinth der Vögel wird dadurch vervollkommnet, dass die Schnecke sich mehr ausbildet, einen stumpfendigenden, etwas gebogenen, hohlen Kegel darstellt, in dem eine deutliche Spiralplatte etc. die beiden *Scalae* von einander trennt, und dass das Labyrinth stets von knöchernen Wänden umgeben ist. Die

mit den Zellen der Schädelknochen communicirende Paukenhöhle wird durch das Trommelfell geschlossen, welches nach aussen convex und schief nach abwärts gestellt ist. Die *Tuba Eustachii* ist kurz. Die Gehörknöchelchen werden nur durch die Columella dargestellt, welche selten, dem Steigbügel ähnlich, zwei Schenkel hat und durch zwei Knorpelstückchen, (Vorbereitungen für Hammer und Ambos) mit dem Trommelfell zusammenhängt. Das äussere Ohr fehlt meistens oder wird hier durch Stellung der Federn ersetzt, dort durch Bildung einer beweglichen Hautfalte vorbereitet. Der äussere Gehörgang ist stets kurz und weit.

Das Labyrinth der Säugethiere gewinnt vorzüglich durch die weitere Ausbildung der Schnecke an Vollkommenheit, die bei den Monotremen kaum eine volle Windung, bei *Caelogenys Paca L.* fünf Windungen hat. Eben so sind zwar grosse, aber doch ausserwesentliche Verschiedenheiten in Bezug auf Grösse und Weite der halbzirkelförmigen Kanäle, deren Zahl constant drei ist, zu bemerken. Die Paukenhöhle ist meist grösser als beim Menschen, oft durch eine eigenthümliche Erweiterung und Vergrösserung des Paukenfellringes, *bulla ossea*, sehr ausgedehnt. Die Ohrtrompete erlangt ihren knorpeligen Theil und mündet in den Hintermund. Den bekannten drei Gehörknöchelchen fügt sich nicht selten ein besonderes *os lenticulare* bei; bewegt werden sie durch einen *Musculus mallei internus* und *m. stapedius*. Das äussere Ohr fehlt wieder vielen im Wasser lebenden Säugethieren, bei den meisten ist es sehr ausgebildet, hat drei Knorpel und wird durch zahlreiche Muskeln (beim Pferde 17) leicht und schnell bewegt.

So bedarf es nur noch geringer Modificationen, um das menschliche Gehörorgan darzustellen.

§. 99.

Entwicklungsgeschichte beim Fötus.

Das Labyrinth entwickelt sich so selbständig und isolirt, dass wir dessen Geschichte wohl berücksichtigen können, allein die Paukenhöhle und die Gehörknöchelchen gehen aus dem

Kiemenapparate hervor, so dass wir später erst deren Geschichte kennen lernen müssen.

Das Labyrinth ist in seiner ursprünglichen Anlage nur unmittelbare Fortsetzung des Gehirns, denn kurze Zeit nachdem sich die Hirnblasen geschlossen und darauf unter einander abgesondert haben, entsteht aus dem Bläschen, welches dem verlängerten Marke entspricht, eine kleine weite Ausstülpung zu beiden Seiten, welche sich allmälig verlängert, eine etwas birnförmige Gestalt annimmt. Um diese Bläschen legt sich bald eine knorpelige Hülle, als die Grundlage des künftigen Felsenbeins. Im Innern gehn nun die Ausbildungen in folgender Art weiter. Von dem ursprünglichen Gehörbläschen, welches der Vorhof wird, entstehen drei breite, tiefe, faltenartige Ausbuchtungen, die einander entgegenstehenden Wände dieser Fältchen legen sich zwischen dem Vorhofe und der äussersten Peripherie der Fältchen an einander, dadurch muss der Umfang des Fältchens in einen Kanal umgewandelt werden, der Anfangs kurz und weit, später länger und enger wird und nur da, wo sich eine Ampulle bildet, die frühere Weite beibehält. Das sind die häutigen halbzirkelförmigen Kanäle, nach deren Gestalt sich die erwähnte knorpelige Hülle bildet, um später in die knöchernen Kanäle überzugehn. Auch die Schnecke muss sich aus dem früheren einfachen Ohrbläschen herausbilden, und dieses geschieht dadurch, dass sich aus demselben ein eignes Säckchen nach vorn hin entwickelt; da nun das Hörbläschen selbst nur eine Verlängerung der Hirnblase ist, deren Stiel sich zum *N. acusticus* umwandelt, so kann die aus diesem Säckchen hervorgehende Ausstülpung nur die Anlage zum Modiolus sein, wie es auch durch die Beobachtung bestätigt wird. Das Schneckenrohr, welches sich um jene Anlage und später um den Modiolus herumlegt, wird durch ein zweites Säckchen gebildet, welches Anfangs mit dem vorigen eins war, sich von dessen äussern Schicht ablöset, selbständig wird, sich erweitert und dann eine Falte nach einwärts sendet, welche Falte spiralig fortkriecht, sich auf das innere Säckchen oder Modiolusanlage auflegt und so das spiralig um den Modiolus herumlaufende Schneckenrohr darstellt, in dessen Innerem sich durch neue Faltung

die Spiralplatte gestaltet, auf welche dann von dem Modiolus aus die Fäden des Hörnerven sich entwickeln. Im Innern des ganzen Labyrinthes erfolgen dann allmälig die übrigen morphologischen und histologischen Sonderungen [1]).

§. 100.

Was die feineren anatomischen Verhältnisse des Gehörorgans betrifft, so interessirt uns hier vornehmlich die Ausbreitungs- und Endigungsweise des *nervus acusticus* auf den häutigen Apparaten, auf welchen die Schalleindrücke ihm mitgetheilt werden, durch deren Schwingungen er in den zur Gehörsperception nöthigen Erregungszustand versetzt wird, mag dieser nun auch in Schwingungen, was unwahrscheinlich ist, oder in anderweitigen Veränderungen bestehen, wovon wir unten handeln werden. So erleichtert das Studium der fraglichen Verhältnisse durch den Umstand ist, dass die letzten Ausstrahlungen des *acusticus* im Gehörorgan nicht in einer hautartigen Bedeckung versteckt, sondern auf ihren Unterlagen nur unter einem einfachen Epithelialüberzuge liegen, so sind doch andere Umstände, theils die Gegenwart von Pigmentzellen und Otolithen an einigen Stellen, theils und hauptsächlich die Feinheit und dichtgedrängte Lagerung der Nervenenden daran Schuld, dass wir noch nicht völlig im Klaren über die peripherische Endigung sind, dass noch nicht einmal die Frage, ob Schlingen, ob freie Enden, für den *acusticus* speciell sicher entschieden ist. Wir finden Schlingen, können aber nicht entscheiden, ob diese als peripherische Endschlingen zu betrachten, ob der rückläufige Schenkel wirklich centripetal ist, wir finden Theilungen der Primitivfasern, können aber die secundären Aeste nicht mit Sicherheit bis zu ihren fraglichen Endigungen verfolgen, wir finden endlich zahlreiche Ganglienzellen, ohne deren Bedeutung für die Endäste des *acusticus* eruiren zu kön-

1) Wer sich genauer über diese Entwicklungsgeschichte unterrichten will, dem empfehlen wir Rathke, Entwicklungsgeschichte der Natter. Königsberg 1839, und das kleine Büchelchen von Günther: Beobachtungen über die Entwicklung des Gehörorgans beim Menschen und den höhern Säugethieren. Leipzig 1842.

nen. Mit Bestimmtheit können wir *a priori* aus der Analogie der Endigungsweise der übrigen Nerven so viel schliessen, dass auch die an der Peripherie des *acusticus* befindlichen Schlingen nicht die früher supponirte Bedeutung von Endschlingen mit centrifugalen und centripetalen im Centrum wieder zusammenlaufenden Schenkeln haben, welche wir schon in der Einleitung zu den Sinnen (pag. 307) zurückgewiesen haben.

Im Allgemeinen finden wir betreffs der Ausbreitung der Fasern des *acusticus* das Gesetz befolgt, dass möglichst viele Fasern auf einen kleinen Raum zusammengedrängt sind, und zwar leistet das Höchste in dieser Beziehung die Schnecke, auf deren Spiralblatt wir die Fasern einander parallel und dichtgedrängt vom Centrum dem Rande zulaufen sehen. Weniger dicht, mehr pinselartig ausstrahlend sind die Fasern in den Ampullen angeordnet, noch weniger dicht die des Vorhofes, welche in Form eines Netzwerkes mit mehr oder weniger grossen freien Maschen ausgebreitet sind. Sorgfältige Untersuchungen über Art und Ort dieser verschiedenen Ausbreitungsweisen der Fasern des *acusticus* bei verschiedenen Thieren hat Harless [1]) angestellt. Mit der Erforschung der Endigungsweise des Hörnerven haben sich in neuster Zeit besonders R. Wagner [2]), Koelliker [3]), Czermak [4]) und Harless [5]) beschäftigt. Schlingenartige Umbiegungen sind besonders bei Thieren schon von früheren Beobachtern gesehen worden, Theilungen zuerst von Czermak, später von Harless bestätigt worden; über das Verhältniss von Schlingen und Theilungen zu einander hat uns besonders letzterer Forscher aufgeklärt. Er fand, dass sehr häufig die Schlingen nicht von den Primitivfasern, sondern von deren Theilungsästen gebildet werden, dass allerdings diese Aeste in einzelnen Bogen centripetal zurückzulaufen scheinen, dass dieser Verlauf aber dadurch unwahrscheinlich wird, dass sich häufig abermalige weitere Theilungen des scheinbar rück-

1) Harless, Wagner's Hdw. der Phys. IV. Bd. p. 393. — 2) R. Wagner, *Icones physiologicae*. — 3) Koelliker, Handb. der Gewelehre p. 626. — 4) Czermak, Koelliker's u. Siebold's Ztschr. Bd. II. p. 105. — 5) Harless a. a. O. p. 395.

läufigen Astes noch innerhalb des peripherischen Ausbreitungsfeldes des Nerven finden, wie er dies besonders beim Vorhofnerven des Hechtes wiederholt beobachtete. Die Fasern des Schneckennerven beim Menschen zeigen am Rande des Spiralblattes häufig hirtenstabförmige Umbiegungen; es ist aber nicht sicher zu entscheiden, ob sie in dieser Umbiegung frei endigen oder ob ein rückläufiger Schenkel unter der centrifugalen Faser nur versteckt liegt. Die parallele dichte Lagerung der Fasern an dieser Stelle macht die nähere Erforschung dieser Verhältnisse äusserst schwierig; ist wirklich ein rückläufiger Schenkel vorhanden, so dass jene Umbiegungen als Schlingen zu betrachten sind, so bleibt es auch hier sehr wahrscheinlich, dass jene Rückläufer noch an der Peripherie mit oder ohne vorhergängige Theilung endigen, nicht aber in den Stamm und mit diesem zum Centrum zurückkehren. Ehe nicht ein solcher rückläufiger Bogenschenkel direct bis in den Stamm und in diesem zum Centrum verfolgt ist, können wir auch beim Hörnerven nicht mehr an die Gegenwart wirklicher Endschlingen in dem bezeichneten Sinne glauben, und halten an der Ueberzeugung fest, dass jeder Sinnesnerv nur an seinen freien Enden, nicht aber an jeder Stelle des Verlaufes seiner Fasern zur Aufnahme äusserer Eindrücke geeignet ist.

Constant finden sich an der Endausbreitung der Fasern des Gehörnerven Ganglienzellen in grosser Anzahl. Auf der *Lamina spiralis* sind sie nahe und parallel dem Rande derselben in einer Reihe gelagert, welche Corti *habenula ganglionaris lam. spir. cochleae* benannte; es sind äusserst zarte, blasse, mattgranulirte, kernhaltige Zellen, welche meist nach zwei Richtungen Fortsätze, die in Nervenfasern übergehen, abgeben, zum Theil aber auch frei, ohne Communication mit Nervenfasern, zwischen diesen eingebettet zu liegen scheinen. Aber auch in dem Stamme des Gehörnerven finden sich Ganglienzellen in ziemlicher Anzahl eingestreut, und zwar ebensowohl im Schneckennerven (Pappenheim, Harless), als im Vorhofnerven.

Schliesslich nur noch wenige Bemerkungen über Vorkommen und Form der Otolithen, so weit dieselben zur Beurtheilung ihrer Beziehung zum Hören nothwendig sind. Das

Vorkommen von krystallinischen Concrementen an den die Hörnervenenden aufnehmenden häutigen Apparaten ist, wie schon bemerkt, ein sehr verbreitetes, sie fehlen selbst bei den niedrigsten Thieren, wo wir die oben beschriebenen elementären Gehörorgane treffen, nicht; schon die einfachen Bläschen der Quallen tragen jedes ihren Otholithen; wir vermissen sie dagegen bei einigen Thieren höherer Ordnungen, wie bei den Dekapoden, Insekten, und vielen Amphibien. Sie bestehen durchgängig aus kohlensaurem Kalk, und lösen sich daher leicht in Essigsäure unter Kohlensäureentwicklung. Die Menge derselben richtet sich hauptsächlich nach ihrer Grösse, bald treffen wir nur einen einzigen grossen Krystall in jedem Gehörbläschen, bald mehrere noch deutlich krystallinische kleinere, bald nur einen feinen scheinbar amorphen, jedoch ebenfalls aus sehr kleinen Krystallen gebildeten Sand. Die Form des kohlensauren Kalks in diesen Otolithen ist nie ein reines Rhomboëder, sondern stets ein vom Kalkspathrhomboëder ableitbares Prisma (besonders sechsseitige mit dreiflächiger Zuspitzung); häufig trifft man auch complicirtere, ursprünglich aus zwei vertical übereinander gestellten Rhomboëdern gebildete und durch secundäre Anlagerung modificirte Formen, wie sie der kohlensaure Kalk auch an andern Orten der Ausscheidung bei Thieren, besonders im Harn der Pflanzenfresser, bildet. Wichtig ist die Entdeckung von Nordmann, dass die kleineren Krystalle des Gehörorgans meist in lebendiger Molecularbewegung, die grösseren zum Theil in rotirender oder nur oscillirender Bewegung zum Theil aber auch bewegungslos gefunden werden. Wir werden später die Frage behandeln, ob diese Bewegungen der Otolithen zur Function der Theile, auf denen sie sich finden, in einer Beziehung stehen, von welchen Ursachen sie abhängig sind, wenn wir überhaupt von der Bedeutung dieser Gebilde sprechen. Hier nur soviel, dass die Wände der Gehörblasen, welche die Otolithen tragen, zuweilen mit einem Flimmerepithelium überzogen gefunden worden sind, und zwar hauptsächlich bei einigen niederen Thieren, während es bei höheren und insbesondere beim Menschen noch nicht nachgewiesen worden ist.

§. 101.

Zum Verständniss der Vorgänge im Gehörorgan ist eine genaue Kenntniss der Gesetze der Akustik unumgänglich nothwendig; wir müssen, um das Wesen der von dem Gehörorgan zu percipirenden Eindrücke, die Fortpflanzung und Uebertragung derselben an die Hörapparate zu verstehen, und das Wesen der in diesen selbst dadurch erzeugten Veränderungen wenigstens errathen zu können, nothwendig eben so wohl mit den Gesetzen der physikalischen Veränderungen in tönenden Körpern, der Fortpflanzung des Schalls durch luftförmige, flüssige und feste Medien vertraut sein, als wir die einzelnen Theile des Gehörmechanismus, so weit dies möglich ist, physikalisch zu zergliedern, die in ihnen vorhandenen Bedingungen zur Schallleitung, Resonanz u. s. w. aufzusuchen im Stande sein müssen.

Es kann nicht in der Aufgabe dieses Buches liegen, einen Abriss der akustischen Gesetze zu geben, wir müssen die Kenntniss derselben ebenso nothwendig, als die der anatomischen Thatsachen voraussetzen, und werden daher nur im Laufe unserer physiologischen Betrachtungen die physikalischen Bedingungen des Mechanismus aufzusuchen, die physiologischen Thatsachen auf physikalische Gesetze zu reduciren, unsere Beweise der Physik zu entlehnen uns bemühen.

Wir halten es für den zweckmässigsten Gang der Erörterung der Functionslehre des Gehörorgans, wenn wir den Schall selbst auf seinem Wege, den er bei der gewöhnlichen Fortpflanzung durch die Luft zu unserem Ohr und durch dessen Theile nimmt, begleiten, und somit von der Bedeutung des äusseren Ohres beginnend, allmälig durch äussern Gehörgang, Trommelfell, Pauke bis zu den eigentlichen Aufnahmeorganen des Schalles: Labyrinth und Schnecke fortschreiten.

§. 102.

Das äussere Ohr ist zwar für das Zustandekommen von Gehörempfindungen ein nicht wesentlich erforderlicher Theil, aber doch ein wichtiger Hülfsapparat für die Zuleitung des Schalls zu dem eigentlichen Sinnesorgan. Vielfache Erfahrun-

gen [1]) beweisen, dass auch bei theilweise oder gänzlich mangelndem Ohre das Hören nicht nur nicht verloren geht, sondern oft nicht einmal merklich an Schärfe verliert. Füllt man das äussere Ohr mit Ausnahme des freibleibenden Gehörganges mit einer Masse gleichförmig aus, so vermindert sich die Schärfe des Gehörs etwas, die Töne werden aber ebenso rein gehört; Harless [2]) beobachtete keine Verminderung der Schärfe des Gehörs, wenn er in den äusseren Gehörgang ein kurzes Glasröhrchen von gleicher Weite einsetzte und seine Basis mit weicher Masse umgab. Dennoch beweist schon die vollkommne Ausbildung und insbesondere die grosse und leichte Beweglichkeit des Ohres bei scharf hörenden Thieren, die absichtlichen Bewegungen desselben beim intentirten Hören, dass dieser Theil nicht ohne Nutzen für den Gehörssinn ist. Es fragt sich, welches ist dieser Nutzen? — Im Allgemeinen ist es ohne Zweifel die Aufgabe des äusseren Ohres, mit seiner Oberfläche die durch die Luft fortgepflanzten Schallwellen in grösserem Umfang aufzunehmen und den empfindenden Theilen zuzuleiten; ob diese Zuleitung durch Reflexion der Schallwellen nach dem Gehörgang oder durch Fortleitung derselben durch seine Substanz bewirkt wird, ist eine andere Frage.

Die Brauchbarkeit des Ohres als Recipient der Schallwellen beruht neben seiner halb trichter- halb muschelförmigen Gestalt hauptsächlich auf seiner Beweglichkeit, durch welche es den aus verschiedenen Richtungen kommenden Schallwellen jedesmal möglichst gegenübergestellt werden kann. Je senkrechter die Schallwellen die Ohrflächen treffen, desto intensiver werden sie durch dieselben dem Innern zugeleitet aus Gründen, die uns bei der Art der Zuleitung beschäftigen werden. Das Ohr der Menschen und Thiere ist zu diesem Zwecke mit einem Muskelapparat versehen, durch dessen Thätigkeit die Richtung seiner auffangenden Fläche bei verschiedenen Thieren in verschiedenen Graden verändert werden kann. Das leben-

---

1) Itard, *Traité des maladies de l'oreille et de l'audition. Paris* 1821. *I. p.* 131. Linke, Handbuch der Ohrenheilkunde. I. p. 442. — 2) Harless, a. a. O. p. 350.

dige Spiel der Ohren bei Hunden und Pferden wird durch einen ziemlich complicirten Muskelapparat bewerkstelligt. Dass unser menschliches Ohr ebenfalls mit Vor- und Rückwärtsdrehern und Hebern ausgestattet ist, lehrt die Anatomie, dass diese Muskeln bei uns in Unthätigkeit verkümmern, ist wohl zum grossen Theil die Schuld unserer abscheulichen Kindermützen, durch welche von den ersten Lebenstagen an die Ohren an den Kopf gefesselt und jeder instinctmässige Gebrauch ihrer Muskeln unmöglich gemacht wird. Die Unbeweglichkeit unserer Ohren wird in gewissem Grade durch die grosse und leichte Beweglichkeit unseres Kopfes gut gemacht, den wir, wie jeder aus Erfahrung weiss, mit den Ohren dem Schalle zukehren, und zwar in der Regel so, dass die Stirn der Schallrichtung senkrecht entgegen steht. Dabei treffen zwar die Schallwellen unsere beiden Ohrflächen, wenn wir von ihren Erhebungen und Vertiefungen absehen, nicht senkrecht, aber bei der mittleren Neigung derselben gegen den Kopf immer noch unter einem ziemlich günstigen mässig spitzen Winkel; bringen wir ihre Erhabenheiten und Vertiefungen in Anschlag, so sieht man, dass bei dieser Richtung des Kopfes ein Theil ihrer Wände, und zwar besonders der Muschelwände, welche mehr oder weniger gerade nach vorn sehn, doch senkrecht getroffen wird. Man hat sich bemüht, den Winkel des Abstandes der Ohren von dem Kopfe auszumitteln, welcher der geeignetste ist zur scharfen Auffassung von Schalleindrücken. Buchanan[1]) ist durch eine Reihe sorgfältiger Messungen zu dem Resultat gekommen, dass ein Winkel von 40° der günstigste, ein Winkel von 15° der ungünstigste sei. Aus dem eben Gesagten geht hervor, dass von einem für alle Schallrichtungen gültigen günstigen Neigungswinkel der Ohren nicht die Rede sein kann, dass der von Buchanan ermittelte Winkel nur für die gerade von vorn kommenden Schallwellen günstig, für die von der Seite kommenden schon ungünstiger, für die von hinten kom-

1) Buchanan, *Physiological illustrations of the organ of hearing*, *London* 1828. *p.* 78. Meckel's Arch. 1828, p. 489. Linke, Ohrenheilkunde I. p. 439.

menden ganz unpassend sein muss, dass für letztere der als ungünstig bezeichnete Winkel von 15° der relativ geeignetste ist. Jener grosse Abstand der Ohren kann daher nur insofern allgemein als der passendste bezeichnet werden, weil wir in Folge der verschuldeten Unbeweglichkeit unserer Ohren das Gesicht den Schallwellen gerade entgegen zu richten pflegen, weil dann die Schallwellen um so mehr und um so günstiger aufgefangen werden, je mehr die auffangenden Flächen ebenfalls senkrecht dem Schall entgegengestellt werden. Man sollte daher eigentlich erwarten, dass unter dieser Voraussetzung ein Winkel von 90° der geeignetste sein müsste; wäre das Ohr eine ebene oder gleichmässig und schwach concave Fläche, so würde dies gewiss auch der Fall sein. Das Ohr besitzt aber bekanntlich eine Menge partieller Vertiefungen und Erhabenheiten; betrachten wir es nun, wenn seine Hauptachse in einem Winkel von 40° gegen den Kopf geneigt ist, so sehen wir, dass bei dieser Neigung die einzelnen Höhlen und Vorsprünge zum Theil mehr oder weniger gerade nach vorn gerichtet sind, und zwar besonders die eigentliche Ohrmuschel. Es ist ein bekanntes Mittel, dessen sich besonders Schwerhörige häufig bedienen, um von vorn kommende Schallwellen besser zu percipiren, dass sie mit der Hand das Ohr noch mehr nach vorn beugen, nicht sowohl aber die Muschel, welche schon an sich nach vorn sieht, sondern hauptsächlich die oberen und äusseren Flächen des Ohres mit ihren Leisten, Vorsprüngen und Gruben. Zugleich geben sie dabei der an das Ohr angelegten muschelförmig gehöhlten Hand eine solche Richtung, dass auch die auf diese treffenden Schallwellen dem Ohre zugeworfen werden. Beim Horchen pflegen wir uns auf ein Ohr zu beschränken und dasselbe dem Schall so zuzukehren, dass eine möglichst grosse Anzahl von Wellen direct in den äusseren Gehörgang eindringen kann, während zugleich die Ohrflächen in einem günstigen Winkel denselben entgegenstehen.

Es giebt Menschen, welche durch Uebung eine gewisse Herrschaft über ihre Ohrmuskeln erlangen, und somit ihr Ohr, wenn auch in beschränktem Grade, bewegen lernen. Günther, welcher ebenfalls diese Fähigkeit Anfangs durch Uebung sich angeeignet hat, versichert,

dass er seit Jahren beim Horchen unwillkührlich von seinen Ohrmuskeln Gebrauch mache. Die Beobachtung horchender Thiere zeigt auf das Deutlichste, dass die Lageveränderung des Ohres, und die damit häufig verbundenen Formveränderungen den Zweck haben, den wahrzunehmenden Schallwellen eine möglichst grosse und möglichst günstig gerichtete Aufnahmefläche entgegenzustellen. Wir werden unten sehen, dass es bei den trichterförmigen Ohren mancher Thiere besonders darauf ankommt, dass die Oeffnung des Trichters senkrecht dem Schall gegenübergestellt wird.

Wir kommen nun zu der schwieriger zu entscheidenden Frage, in welcher Weise leitet das äussere Ohr die aufgefangenen Schallstrahlen den eigentlichen Hörapparaten zu? Wir haben offenbar nur zwischen zwei Möglichkeiten zu wählen, entweder kann das Ohr die Schallwellen so reflectiren, dass sie dem Gehörgang zugebrochen werden, oder es dient als fester Leiter, und pflanzt durch seine eigne Substanz die Schwingungen der Luft zu dem Trommelfell u. s. w. fort. Letztere Fortpflanzung muss nach physikalischen Gesetzen in jedem Falle vor sich gehen, es fragt sich nun: besteht darin die hauptsächliche Aufgabe des äusseren Ohres, und durch welche Bedingungen ist es dazu besonders geschickt? Es geht schon aus unseren Erörterungen über die Lage des Ohres zu der Schallrichtung, wobei wir als günstigste Bedingung eine möglichst senkrechte Richtung der auffangenden Flächen gegen die Schallwellen hinstellten, hervor, dass wir das (menschliche) Ohr nicht als Reflector der Schallwellen zu dem Gehörgang betrachten; denn senkrecht auftreffende Wellen werden senkrecht zurückgeworfen, also nicht in den Gehörgang. Da indessen eine Menge gekrümmter Flächen mit verschiedener Richtung der Krümmungsachsen am Ohr vorhanden sind, so können unmöglich alle Theile desselben gleichzeitig die aus einer bestimmten Richtung kommenden Schallwellen in gleicher Richtung zurückwerfen; es fragt sich also, ob nicht auch Flächen darunter sind, welche die empfangenen Wellen dem Gehörgang zubrechen, während andere sie in mehr oder weniger senkrechtem Winkel zurückwerfen. Der Beweis, dass das Ohr nicht bestimmt ist, als Reflector zum Gehörgang zu dienen, lässt sich aus der natürlichen Lage seiner Flächen, Vertiefungen und Erhebungen zu dem äusseren Gehör-

gang führen; Esser[1]) hat zur Evidenz gezeigt, dass es nur wenige Punkte im äussern Ohr giebt, von welchen Schallwellen in einer solchen Richtung reflectirt werden können, dass sie den äusseren Gehörgang treffen. Derselbe hat die Reflexionsbahnen an einem in Wachs modellirten Ohr sorgfältig studirt, und ist dadurch zu obigem Satz gelangt, gegen Schelhammer[2]), Valsalva[3]), und besonders Boerhave[4]), welche sich bemühten, das Gegentheil zu zeigen, dass alle das äussere Ohr treffenden Schallwellen dem äusseren Gehörgang zugeworfen würden. Jene wenigen Punkte, an denen eine solche Reflexion stattfindet, liegen besonders an der Muschel und dem *tragus*, von den übrigen Gruben und Leisten des Ohres kommt fast nie eine Schallwelle in den Gehörgang; jene Punkte reflectiren natürlich auch nur diejenigen Wellen in den *meatus auditorius*, welche sie in einer ganz bestimmten Richtung treffen; bei verschiedenen Richtungen des Schalles zur Muschel werden auch verschiedene Punkte in der bezeichneten Weise reflectorisch wirken; ein grosser Theil der Schallwellen wird auch aus der Muschel so reflectirt, dass er den Gehörgang nicht trifft. Diese geringe Reflexion, welche nach diesem Theil zu wirklich stattfindet, wird das Hören allerdings unterstützen, ist aber in keinem Fall die wesentliche Bestimmung des äusseren Ohres, erklärt uns nicht den Grund der Gegenwart der mannigfachen Unebenheiten an der übrigen nicht in dem genannten Sinne reflectirenden Ohrfläche. Wir haben daher mit Recht den Hauptnutzen des Ohres in der Fortpflanzung des Schalles durch seine eigenen festen, elastischen Wände zu suchen. Wie gut dieselben Schallschwingungen leiten, und den Enden des Gehörnerven zuführen, zeigt folgender einfache Versuch; lässt man eine tönende Stimmgabel so lange schwingen, bis man ihren Ton selbst in unmittelbarster Nähe vor dem Ohr durch

1) Esser, *Ann. d. sciences*, *T. XXVI*. *p.* 8. Kastners Archiv. XII. p. 54. — 2) Schelhammer, *de auditu liber unus*, *Lugd. Bat. apud Petrum de Graaf*. 1684. *p.* 181. — 3) Valsalva, *de aure human. tract.*, *Traject. ad Rhenum* 1707. *p.* 64. — 4) Boerhave, *praelect. acad. III*. *p.* 184.

die Luft nicht mehr wahrnimmt, so wird man denselben noch deutlich hören, sobald man den Stiel der Gabel auf das äussere Ohr aufsetzt. Die Fortpflanzung des Schalles im Ohr geschieht, wie in Platten überhaupt, in der Richtung der Platte, wenn auch die Richtung des Stosses senkrecht gegen die Platte ist; je mehr dieselbe senkrecht von dem Stoss der Luftwelle getroffen wird, desto beträchtlicher wird die Excursion der einzelnen in Schwingung versetzten Theilchen, desto intensiver wird der ursprüngliche Stoss fortgepflanzt, desto ungeschwächter der Schall dem Gehörorgane zugeleitet. Es ergiebt sich also hieraus, warum das äussere Ohr seinen Zweck am besten erfüllt, wenn eine möglichst grosse Anzahl seiner Flächentheilchen dem Schall senkrecht gegenübersteht; irgend ein Theil der Ohrfläche wird bei ihrer mannigfachen Krümmung wohl stets von jeder beliebigen Schallwelle in senkrechter Richtung getroffen werden und den Schall in unverminderter Intensität fortpflanzen. Vielleicht liegt auch den vielfachen Unebenheiten der Ohroberfläche noch ein anderer Nutzen zu Grunde; vielleicht sind sie bestimmt, einen Theil der Schallwellen in solchen Richtungen zu reflectiren, dass sie mit den übrigen regelmässige Kreuzungspunkte bilden, in denen Wellenberg auf Berg und Thal auf Thal trifft, der Schall demnach verstärkt wird.

Wenn wir das flache menschliche Ohr somit hauptsächlich als Conductor und weniger als Reflector der Luftwellen kennen gelernt haben, so dient das trichterförmige Ohr vieler Thiere hauptsächlich nach Art der bekannten Hörrohre zur Condensation der die Wände desselben treffenden Schallwellen in der Richtung der Trichterachse, nach dem Gehörgang zu. Zugleich werden die Wände wie in den Hörrohren durch Resonanz die aufgenommenen Schallwellen verstärken.

§. 103.

Der äussere Gehörgang hat die Aufgabe, die Schallwellen der Luft zu condensiren und so dem an seinem Ende ausgespannten Trommelfell mitzutheilen; die Condensation geschieht in ihm ebenfalls wie in den Hörrohren, wie in den trichterförmigen äusseren Ohren der Thiere, indem die an mehreren Stellen erweiterten und abwechselnd verengten Wände durch Reflexion besonders in der Achse des Ganges concentrirtere

Schwingungen erzeugen. Wie weit die Wände desselben durch Resonanz zur Verstärkung des Schalles beitragen, ist nicht ermittelt, dass sie die von der Substanz des äusseren Ohres aufgenommenen Schwingungen fortpflanzen, haben wir schon oben wahrscheinlich gemacht. Ebenso lässt sich keine genaue physikalische Rechenschaft darüber geben, in welcher Weise die mannigfachen bei verschiedenen Personen verschiedenen Krümmungen des Gehörganges und die dadurch bedingten vielfachen Reflexionen der Schallwellen unterstützend wirken.

Gross ist der Unterschied der Länge des äusseren Gehörganges bei Neugebornen und Erwachsenen, ja bei ersteren fehlt er noch ganz und bildet sich nur ganz allmälig während der Kindheit aus dem Trommelfellringe. Man hat diesen Umstand mit der Erfahrung in Zusammenhang bringen wollen, dass kleine Kinder schwer zu hören scheinen, und grössere von 3—8 Jahren lärmende Vergnügen, Getöse etc. lieben. Es mag sein, dass der Mangel oder die Kürze des äussern Gehörganges etwas von Einfluss ist, mit dieser Kürze ist aber auch eine sehr horizontale Stellung des Trommelfelles, Enge der Pauke, Mangel der Zellen des Warzenfortsatzes und gewiss im Innern noch manche andere, noch nicht gekannte Unvollkommenheit verbunden, als deren Gesammtresultat jene Erscheinung bei Kindern zu betrachten ist. Ueber den Nutzen des Ohrenschmalzes ist bis jetzt etwas Bestimmtes nicht ermittelt, doch lehrt die Erfahrung, dass bei völligem Mangel dieser Absonderung die Feinheit des Gehörs leidet, und ein störendes Brausen vernommen wird, welches letztere durch das Einstreichen von Oel, Fett etc. momentan beseitigt wird (Linke[1]). Es scheint hieraus hervorzugehen, dass bei Trockenheit der häutigen Auskleidung des äussern Gehörganges ein störendes Mitschwingen derselben entsteht, dass vielleicht die Bewegungen der einströmenden Luft in ihnen ebenso ein Geräusch hervorrufen, wie die in eine Muschel einströmende Luft. Harless[2]) glaubt, dass letzteres durch die fettige Flüssigkeit nicht

---

1) Linke, Ohrenheilkunde. I. p. 452. — 2) Harless, a. a. O. p. 352.

aufgehoben werden würde, weil ein mit Fett ausgestrichenes Glas dasselbe Sausen vernehmen lässt, wenn man es an das Ohr hält, wie ein trocknes; es ist indessen zu bedenken, dass ein Unterschied ist zwischen einer mit Fett überstrichenen festen Glaswand und einer davon durchtränkten thierischen Membran. Freilich fand Savart[1]), dass auch mit Fett bestrichene Membranen noch Chladni'sche Klangfiguren bilden, und sogar entfernte Töne mit Leichtigkeit angeben; es wäre aber gewagt, daraus ohne Weiteres eine analoge Bedeutung des Ohrenschmalzes zu folgern.

Dass durch die fettige Beschaffenheit des Ohrenschmalzes und durch die am Eingange des Gehörganges stehenden Härchen auch kleine Insekten von dem Einkriechen abgehalten werden, ist wohl möglich, aber gewiss nur zufällige Nebensache. — Angesammeltes und verhärtetes Ohrenschmalz bewirkt durch Verstopfung des Gehörganges Schwerhörigkeit.

§. 104.

Im Grunde des äussern Gehörganges trifft man bekanntlich auf das Trommelfell, welches als eine elastische membranöse Scheidewand zwischen dem äusseren Gehörgange und der Paukenhöhle erscheint, die aber nicht rechtwinkelig die Axe des Gehörganges schneidet, sondern nach mehreren Messungen an Erwachsenen unter einem Winkel von 75—80°, und zwar so, dass die Decke des Ganges durch diese Lage des Trommelfelles kürzer, als der Boden wird. Obgleich der Nutzen des Trommelfelles für das Gehör ein mannigfaltiger ist, wie wir sogleich sehen werden, so scheint doch aus zahlreichen pathologischen Erfahrungen hervorzugehen, dass seine Integrität für das Zustandekommen von Gehörsempfindungen nicht absolut nothwendig ist. Linke[2]) und andere Aerzte haben gefunden, dass bei durchlöchertem ja selbst bei gänzlich zerstörtem Trommelfell das Gehörsvermögen nicht nur nicht wesentlich beeinträchtigt war, sondern in einzelnen Fällen sogar verschärft erschien.

---

1) Savart, *Ann. d. Chim. et phys. Bd. XXVI. p.* 17. — 2) Linke, Ohrenheilkunde. I. p. 455 u. flg., p. 465 u. flg.

Dass auch ohne Trommelfell Schallwellen dem Labyrinth und der Schnecke zugeleitet, und ebenso deutlich ja unter Umständen noch schärfer als durch das Trommelfell zugeleitete Luftwellen wahrgenommen werden, ist eine sichere physiologische und physikalisch leicht erklärbare Thatsache, wie sich aus den späteren Betrachtungen ergeben wird. Es ist also dafür gesorgt, dass bei verletztem oder mangelnden Trommelfell andere Theile vicarirend den entstandenen akustischen Mangel ausgleichen. Nur eine untergeordnete Nebenfunction des Trommelfells, insofern es als Schutzapparat gegen das Eindringen fremdartiger schädlicher Einflüsse (Wind, Wasser, fremde harte Körper u. s. w.) dient, wird durch Störung seiner Integrität aufgehoben, ohne ersetzt zu werden. Indessen ist dem leichten Eindringen solcher Einflüsse schon durch den etwas versteckten äusseren Eingang des *meatus auditorius*, durch die Armirung desselben mit kleinen Härchen und einem klebrigen Secret, durch den gekrümmten Lauf dieses Kanals einigermaassen vorgebeugt.

Betrachten wir jetzt die akustischen Dienste, welche das Trommelfell vermöge seiner membranösen Beschaffenheit, seiner Lage, seiner Einfügung und Verbindung mit den übrigen Theilen des Gehörmechanismus nach physikalischen Gesetzen nothwendig leisten muss. Diese bestehen im Wesentlichen darin, dass das Trommelfell als gespannte Membran durch die es treffenden Schallwellen der Luft leicht in Schwingungen versetzt wird, dass es als Membran die Schallwellen der Luft leicht an feste Körper, d. i. die mit ihm verbundenen Gehörknöchelchen abgiebt, und durch Resonanz dieselben verstärkt.

Dass eine gespannte Membran die Schallschwingungen der Luft leicht aufnimmt, hat schon Savart [1]) an Membranen überhaupt und insbesondere am Trommelfell nachgewiesen. Hält man eine tönende Stimmgabel über eine mit Sand bestreute gespannte Membran, so wird der Sand von letzterer abgeworfen. Dass aber eine gespannte Membran die von der Luft ihr mitgetheilten Schwingungen leicht an feste Körper überträgt, welche mit ihr in Berührung sind, während Luftschwingungen sehr

1) Savart, a. a. O. p. 6.

schwer und unvollkommen direct auf feste Körper übergehen, hat J. Müller [1]) durch seine classischen Experimente erwiesen. Fasst man einen Ring, über welchen eine Membran gespannt ist, mit der Hand, und nähert der Membran die Zinken einer tönenden Stimmgabel, so fühlt man die Bebungen; fühlt dieselben aber nicht, wenn nach entfernter Membran die Gabel dem Ringe genähert wird. Das Trommelfell steht in seiner natürlichen Lage zweifach mit festen Körpern in Verbindung, einmal mit dem Felsenbein an der Einfügungsstelle seines Randes und zweitens mit der Kette der Gehörknöchelchen, welche eine Brücke zwischen ihm und dem Labyrinth bilden. Es muss demnach die von der Luft ihm mitgetheilten Schwingungen auf diese festen Körper übertragen und zwar wird es sie ganz besonders auf die Gehörknöchelchen fortpflanzen, welche dieselben, da sie isolirt durch die lufthaltige Paukenhöhle gehen, feste Körper aber an Luft schwer ihre Schwingungen mittheilen, in ungeschwächter Intensität durch die Membran des ovalen Fensters an das Labyrinthwasser abgeben. J. Müller bildete den Schallleitungsapparat von Trommelfell, Gehörknöchelchen, Membran des ovalen Fensters und Labyrinthwasser schematisch nach, und bewies durch Versuche die gute Schallleitung durch diese Theile von einer vor dem Trommelfell tönenden Luftsäule bis zu dem Labyrinthwasser. Harless [2]) glaubt, dass auch die Uebertragung der Luftwellen durch das Trommelfell auf das Felsenbein und somit auf das Labyrinthwasser umgebenden festen Wände in Betracht komme. Natürlich ist das Trommelfell nicht deswegen da, um die Schwingungen der Luft vom Gehörgang zu der Luft der Paukenhöhle zu leiten, denn zwischen Luft und Luft ist selbst der beste Schallleiter unnütz.

Wir kommen zu einer wichtigen Frage: von welcher Art sind die von den Schallwellen der Luftsäule im äusseren Gehörgang dem Trommelfell mitgetheilten und von diesem auf die Gehörknöchelchen übertragenen Wellen? Bestehen dieselben in einfachen Verdichtungs- und Verdünnungswellen, oder werden (transversale) Beugungswellen in dem Trommelfell erzeugt?

---

1) J. Müller, Phys. II. p. 428. — 2) Harless a. a. O. p. 361.

Offenbar sind beide Fälle möglich; es hängt von der Stärke des Stosses ab, welcher von beiden eintritt; ist der Stoss so stark, dass die Bahn der schwingenden Theilchen des Trommelfells grösser ist als dessen Durchmesser, so müssen Beugungswellen, bei geringerer Excursionsweite nur Verdünnungs- und Verdichtungswellen entstehen. Die Möglichkeit, dass in einer Membran wie dem Trommelfell durch die Schwingungen der Luft Beugungswellen, seien es totale oder partielle, erzeugt werden, wenn der Stoss einer Luftwelle senkrecht auf seine Fläche oder auf einen Theil derselben trifft, ist physikalisch begründet; es fragt sich daher nur, ob dieselben in der Wirklichkeit eintreten. E. H. Weber nimmt an, dass dieselben regelmässig in dem Trommelfell erzeugt werden; sein Beweis dafür ist ein teleologischer, indem er aus der federnden Einlenkung der mit dem Trommelfell verbundenen Gehörknöchelchen an dem festen Rande desselben, von der wir später handeln werden, schliesst, dass dieselben bestimmt seien, durch transversale Beugungen der *menbrana tympani* so bewegt zu werden, dass der Fuss des Steigbügels in der *fenestra ovalis* wie ein Stempel auf- und niedergehe, und so das Wasser des Labyrinths und der Schnecke in Bewegung setze, während die Membran der *fenestra rotunda* durch correspondirende Aus- und Einbeugungen das Ausweichen des Wassers möglich mache. So sinnreich diese Erklärung ist, so geht doch aus einer einfachen Betrachtung der Art der Schallfortpflanzung in der Luft hervor, dass nur in der Minderzahl der Fälle Stösse von solcher Stärke das Trommelfell erreichen werden, dass die Excursionsweite seiner schwingenden Theilchen grösser als seine Dicke ist, mithin tranversale Schwingungen hervorgerufen werden. Pflanzt sich der Schall im unbegränzten Luftraum fort, so bilden die erzeugten Wellen concentrische in einander geschachtelte Hohlkugeln um den schallerzeugenden Punkt; die Dicke dieser Kugelwände, d. h. die Dicke der Wellen bleibt sich gleich, verändert sich nicht mit der Entfernung der Wellen vom Centrum, allein die Excursion der einzelnen schwingenden Luftmolecüle nimmt ab und zwar nach einem bekannten physikalischen Gesetz dem Quadrat ihrer Entfernung vom tönenden Punkt proportional.

Nur wenn sich der Schall durch die begränzte Luftsäule einer Röhre fortpflanzt, bleibt sich die Excursionsgrösse der schwingenden Lufttheilchen durch die ganze Röhre gleich. Beim gewöhnlichen Hören treffen aber nur Luftwellen der ersten Art unser Ohr; ist der tönende Körper unserem Ohr sehr nahe, und die ursprünglich von ihm erzeugte Bahngrösse der Lufttheilchen beträchtlich, so kann diese Grösse noch am Trommelfell hinreichend gross, d. h. grösser als dessen Dicke sein, und Beugungsschwingungen erzeugen. Bedenkt man aber, dass, wenn die Excursionsweite der Lufttheilchen am tönenden Körper einen Zoll beträgt, dieselbe schon in einer Entfernung von 10 Fuss nach obigem Gesetz auf $\frac{1}{100}''$ reducirt sein muss, so lässt sich leicht einsehen, dass das Trommelfell nur in seltenen Fällen in Beugungswellen versetzt werden, seine gewöhnliche Erregungsart durch Schallwellen in Verdünnungs- und Verdichtungswellen bestehen wird. Dass die Wellen, welche von dem äusseren Ohr durch den äusseren Gehörgang dem Trommelfell mitgetheilt werden, Wellen der letzteren Art sein müssen, versteht sich von selbst: indessen werden die von jenen Theilen kommenden Wellen mehr direct durch die Knochen als auf dem Umwege durch Trommelfell und Gehörknöchelchen den Wänden des Labyrinthes zugeleitet.

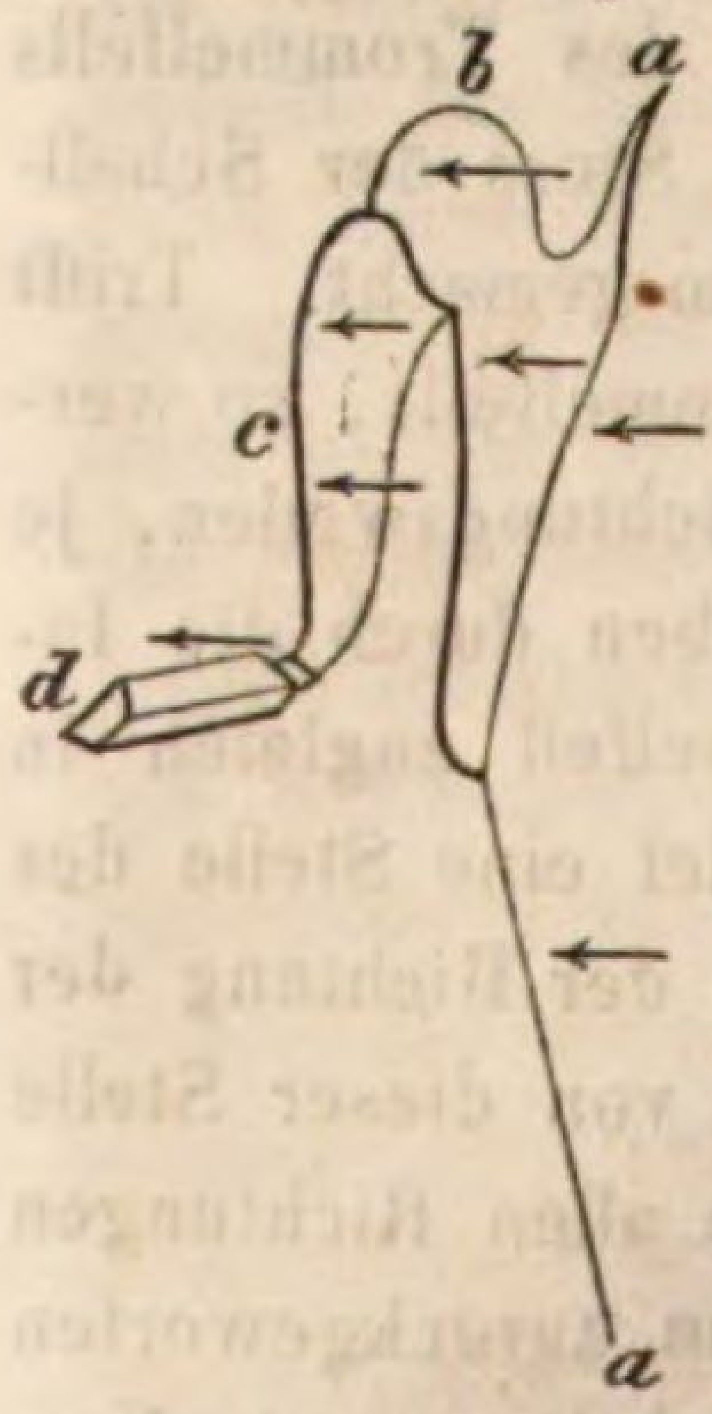
Auf die Verschiedenheiten der Wellen des Trommelfells nach der Richtung, in welcher dasselbe den Stoss der Schallwellen empfängt, hat J. Müller [1]) aufmerksam gemacht. Trifft der Stoss senkrecht die ganze Breite des Trommelfells, so werden sowohl die Beugungswellen als die Verdichtungswellen, je nachdem die eine oder die andere Art derselben durch die Intensität des Stosses bedingt ist, das Trommelfell zugleich in ganzer Breite einnehmen; trifft der Stoss schief eine Stelle des Trommelfells, wie er thun muss, wenn er in der Richtung der Achse des Gehörganges erfolgt, so werden von dieser Stelle aus Beugungs- oder Verdichtungswellen nach allen Richtungen auslaufen, und von den Rändern der Membran zurückgeworfen hin- und herlaufen. Dass auf diese Weise sich kreuzende Ver-

1) J. Müller a. a. O. p. 432.

dichtungswellen entstehen, und so durch Resonanz den Ton verstärken müssen, ist leicht ersichtlich.

§. 104.

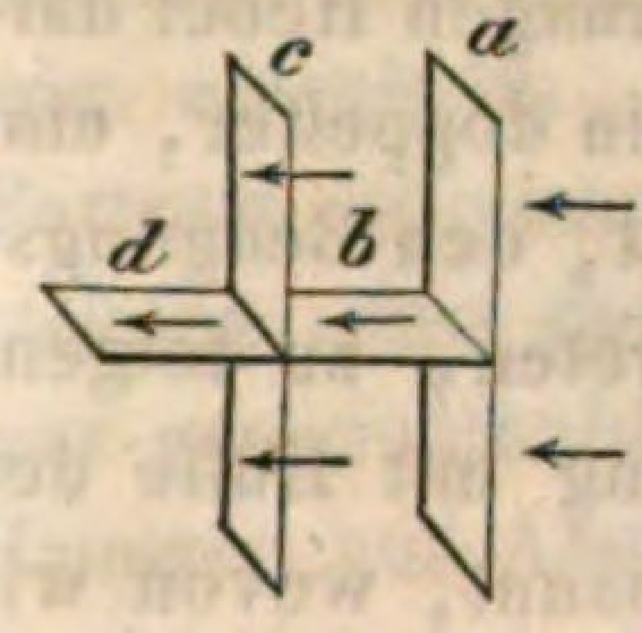
Die weiteren Beziehungen des Trommelfells zur Schallleitung hängen wesentlich mit dem Mechanismus der mit ihm verbundenen Gehörknöchelchen zusammen, den wir daher zunächst zu erläutern haben. Wir haben dieselben schon oben als Brücke für die Schallschwingungen vom Trommelfell zu dem Labyrinth bezeichnet, ersteres theilt die von der Luft empfangenen Schwingungen zunächst dem mit ihm verwachsenen Hammer mit, der Fuss des Steigbügels giebt sie an die Membran des ovalen Fensters und durch diese an das Labyrinthwasser ab. Wo wir keine gesonderten Gehörknöchelchen, sondern einen einfachen ungegliederten unbeweglichen Stab, wie die Columella im Gehörorgan der Vögel, finden, welcher zwischen Trommelfell und Labyrinth eingefügt ist, hat die Erklärung der Fortpflanzung von Schallwellen durch diesen Stab keine Schwierigkeit. Savart [1]) hat zuerst gezeigt, dass auch eine gegliederte Reihe beweglicher Knöchelchen, wie im menschlichen Gehörorgan, in demselben Sinne zwischen jenen beiden Membranen den Schall fortpflanzt, dass weder die Beweglichkeit ihrer Verbindung noch die Verschiedenheit der Ebenen, in welchen die einzelnen Theile liegen, jene Leitung ändert. Die Wellen gehen durch sämmtliche Theile dieser Kette fester Körper in derselben Richtung, in der Richtung des ursprünglichen Stosses hindurch.



Beistehende Figur giebt einen Durchschnitt des Trommelfells a a mit den Gehörknöchelchen: Hammer b, Ambos c, Steigbügel d. Wird das Trommelfell in Schwingungen versetzt, welche die Richtung der beiden vor demselben gezeichneten Pfeile haben, so pflanzen

1) Savart, vergl. Biot's Experimentalphys. übers. v. Fechner. II. p. 128.

sich diese Schwingungen in unveränderter Richtung durch das System der Gehörknöchelchen fort, wie die Pfeile andeuten, also senkrecht auf die Längsachse des Hammerstieles wie des langen Fortsatzes des Amboses, parallel dagegen der Längsachse des Steigbügels, aber wieder senkrecht auf die Membran des ovalen Fensters. Die Analogie des Gehörknöchelchensystems mit einem System rechtwinklig unter einander verbundener Bretchen, wie es die folgende Figur zeigt, leuchtet ein.



Savart wies nach, dass, wenn das Bretchen a in Schwingungen versetzt wird, welche in der Richtung der Pfeile, also senkrecht auf seine Länge gehen, diese Schwingungen durch die übrigen Bretchen in unveränderter Richtung fortgepflanzt werden, also a b longitudinal, c transversal, und d wieder longitudinal durchlaufen. Wenn die Schwingung von b auf c übertragen wird, so gerathen nicht nur die mit b in Berührung stehenden Theilchen von c in Schwingung, sondern alle Theilchen der ganzen Länge von c gerathen in gleichnamige transversale Schwingungen, so wie in jedem Stab ein auf einen Theil seiner Länge senkrecht treffender Stoss durch die ganze Länge desselben sich fortpflanzt, obwohl die Stosswelle in der Richtung seiner Querachse durch ihn durchgeht.

Wir haben schon oben der Theorie von E. H. Weber Erwähnung gethan, dass durch die Beugungsschwingungen des Trommelfells das ganze System von Gehörknöchelchen in eine solche Bewegung gesetzt werde, dass der Fuss des Steigbügels in der *fenestra ovalis* wie ein Spritzenstempel auf- und niedergehe. Wir haben dagegen schon angeführt, dass das Trommelfell nur in seltenen Fällen in wirkliche Beugungsschwingungen geräth, in der Regel nur in Verdichtungs- und Verdünnungswellen durch die Stösse der Luftwellen versetzt wird. Aber selbst in den Fällen, wo das Trommelfell wirklich in Beugungsschwingungen geräth, glauben wir nicht an eine derartige Fortpflanzung derselben durch das Gehörknöchelchensystem, dass der Steigbügel die beschriebenen Bewegungen im ovalen Fenster ausführte; und zwar scheinen uns die Beweise gegen jene

Ansicht in demselben Mechanismus der Gehörknöchelchen zu liegen, aus welchem Weber die Beweise dafür entlehnte. Der Hammergriff ist bekanntlich mit den Platten des Trommelfells innig verwachsen, sein *processus folianus* dagegen an der Wand der Paukenhöhle durch eine elastische Masse so befestigt, dass er dem Hammer einige Bewegung gestattet, und zwar kann von keiner anderen Bewegung die Rede sein, als von einer Achsendrehung um den genannten Fortsatz als Achse, während der Hammer selbst mit Stiel und Kopf einen zweiarmigen Hebel darstellt. Der Zweck dieser Beweglichkeit ist ein doppelter, einmal wird der Hammer dadurch in Stand gesetzt, den Beugungswellen des Trommelfells, falls dieselben eintreten, zu folgen, und zweitens wird durch seine Hebelbewegung mit Hülfe des *musculus tensor tympani* das Trommelfell gespannt, wovon wir unten handeln werden. Aber dieselbe Befestigungsweise, welche dem Hammer erlaubt, durch die Beugungswellen bewegt zu werden, scheint uns zugleich ein Mittel, eben diese Schwingungsart des Trommelfells zu beschränken. Läge es in der Aufgabe des Hammers, jene Wellen unverändert bis auf das Labyrinth zu übertragen, so wäre ein frei auf das Trommelfell befestigtes, nicht mit den festen Wandungen verbundenes Stäbchen in unbeweglicher Verbindung mit den übrigen Gehörknöchelchen entschieden ein weit geeigneterer Träger solcher Wellen gewesen, ebenso wie ein auf die Membran einer Trommel aufgeklebtes Stäbchen frei mit den transversalen Schwingungen des Fells hin- und hergeworfen wird. Wäre der *processus folianus* durch ein freies Gelenk mit der Knochenmasse verbunden, so würde wenigstens jene Achsendrehung unbeschränkt sein, mit der Excursionsweite des schwingenden Trommelfells gleichen Schritt halten. So aber wird eben jene federnde Beweglichkeit des Hammers ein Hinderniss für die freien Beugungsschwingungen sein, jene elastische Verbindungsmasse muss durch Torsion sehr bald der Achsendrehung des *processus folianus*, mithin den Excursionen des hebelförmigen Hammerstiels eine Gränze setzen und daher auch den freien Beugungsschwingungen des Trommelfells selbst entgegenwirken. Gesetzt aber auch, der Hammer wäre ganz frei beweglich, so ist eine ganz andere Frage, wie weit sich die

übrigen Gehörknöchelchen an seinen Bewegungen betheiligten. Der Körper des Amboses umfasst mit seiner concaven Gelenkfläche die entsprechende convexe Fläche des Hammers dicht über dessen Hypomochlion, der kurze rechtwinklig abgehende Fortsatz liegt in einer Linie mit dem *processus folianus* und befestigt sich demselben gegenüber an der Paukenwand. Letztere Befestigung ist straffer und unbeweglicher, als die des langen Hammerfortsatzes, häufig findet man sogar den Fortsatz des Amboses in ein Grübchen der hinteren Trommelhöhlenwand wie eingekeilt. Eine Achsendrehung des Amboses um diesen Fortsatz in demselben Sinne wie die des Hammers, die Vorstellung, dass der kurze Ambosfortsatz und der *processus folianus* gemeinschaftlich e i n e Achse bildeten, um die sich zugleich Hammer und Ambos drehten, dünkt uns daher unwahrscheinlich. Noch viel mehr scheint uns aber die Gelenkverbindung zwischen Hammer und Ambos gegen eine Theilnahme des letzteren an den Drehungen des ersteren, mögen diese durch Beugungsschwingungen des Trommelfells oder durch Contraction des *tensor tympani* erzeugt werden, zu sprechen. Wir können uns keinen anderen Zweck dieser Gelenkverbindung denken, als eben jene Theilnahme des Amboses an den Hammerdrehungen durch die gestattete Verschiebung des letzteren an ersterem zu verhüten, während sie die Fortpflanzung von Verdichtungswellen von Hammer auf Ambos in dem oben bezeichneten Sinne durchaus nicht hindert, ja sogar durch die Breite der sich berührenden Flächen die Mittheilung der Schwingungen von einem Knöchelchen zum anderen begünstigt.

Wenn wir nun früher bereits den seltenen Eintritt von Beugungsschwingungen des Trommelfells nachgewiesen haben, wenn wir im Folgenden noch besondere Einrichtungen kennen lernen werden, welche denselben entgegen wirken, und endlich in den ebenbeschriebenen Verhältnissen der Gehörknöchelchen Mittel kennen gelernt haben, welche theils die Beugungswellen des Trommelfells selbst beschränken, theils deren Uebertragung auf den Ambos und somit mittelbar auf das Labyrinthwasser verhüten, so dünkt uns auch die ganze Einrichtung des Labyrinths, die wunderbaren Vorrichtungen in demselben, welche für die

Uebertragung selbst der schwächsten Wellenbewegung auf die Nervenenden bestimmt sind, die Einwirkung so grober Wellen, wie sie durch merkliche Auf- und Niederbewegung des Steigbügels im ovalen Fenster erzeugt werden müssten, auf das Labyrinthwasser zu verbieten. Wenn wir auch die Möglichkeit eines Ausweichens des nicht compressibeln Labyrinthwassers vor dem eindringenden Steigbügel durch compensirende Ausbeugung der *membrana tympani secundaria* zugeben, ja in dieser physikalischen Function die hauptsächliche Bestimmung dieser Membran suchen, wenn wir von der leichten Zerreisslichkeit einer solchen Membran durch irgend beträchliche Ausdehnung absehen, so scheinen uns doch die zarten häutigen Nervenreceptacula im Innern des Labyrinths, die dichten zarten Nervenplexus an denselben einer derartigen Wellenbewegung weder zu bedürfen, noch sie zu vertragen, zumal da, wie wir später wahrscheinlich zu machen suchen werden, die Veränderung, welche an den Nerven herantritt und von ihm percipirt werden soll, zwar in Wellen besteht, aber nicht die Veränderung, die im Nerven selbst durch jene Einwirkung erregt wird, welche er zu den Centralorganen als Schallempfindung zu leiten hat. — Dass die Erregung des Gehörnervenenden durch Verdünnungs- und Verdichtungswellen ausreicht, eine Gehörempfindung und sogar eine intensive zu erzeugen, dafür liegt der beste Beweis in der deutlichen Wahrnehmung der durch die Schädelknochen dem Labyrinth und besonders der Schnecke zugeleiteten Schallwellen, welche unter allen Umständen Wellen dieser Art sein müssen.

Schliesslich haben wir noch zu erwähnen, dass die Gehörknöchelchen nicht allein als Leiter der Schallwellen zum Labyrinthwasser dienen, sondern, wie Harless [1]) gezeigt hat, auch geeignete Bedingungen zur Vermittlung von Resonanz darbieten. Harless macht namentlich darauf aufmerksam, dass die Form des Steigbügels, die Breite seines Fusstritts und die Stellung der beiden vom Köpfchen auslaufenden Schenkel zu demselben den Zweck habe, durch mehrfache Reflexion der

---

1) Harless a. a. O. p. 370.

Wellen die Maxima der Schwingungen auf die Mitte des Fusstrittes fallen zu lassen.

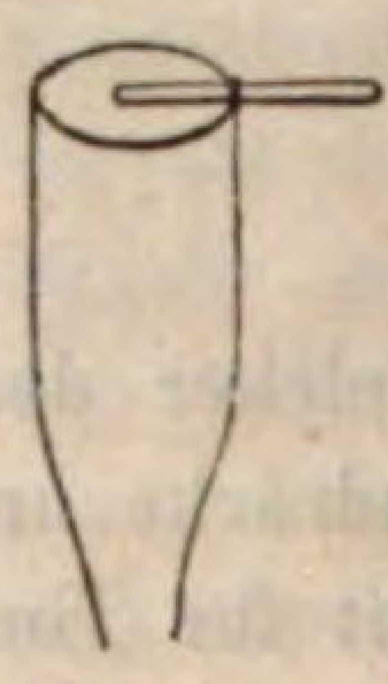
§. 105.

Wir wenden uns jetzt zu einem Apparat, welcher dem inneren Ohr zur Dämpfung zu intensiver Schalleindrücke und zugleich als eine Art Regulator der Empfänglichkeit für Töne von verschiedener Höhe beigegeben ist, indem wir die Wirkung der beiden Muskeln der Gehörknöchelchen des *musculus tensor tympani s. mallei internus* und des *musculus stapedius* betrachten; den *musculus laxator tympani s. mallei externus* können wir füglich ausser Acht lassen, da seine muskulöse Natur sehr zweifelhaft ist, in den meisten Fällen wenigstens keine quergestreiften Muskelbündel in ihm sich nachweisen lassen.

Der *musc. tensor tympani* entspringt bekanntlich von dem Anfangstheil der *tuba Eustachii* und zum Theil vom vorderen Winkel der Felsenpyramide, läuft in dem für ihn bestimmten Halbkanal schräg nach hinten und aussen, schlingt seine Sehne um das *rostrum cochleare* herum und inserirt sich am Hammer an der Verbindungsstelle von Hals und *manubrium*. Zieht sich dieser Muskel zusammen, so wird nothwendig mit dem Hammergriff das Trommelfell nach innen gegen die Paukenhöhle gezogen, stärker in dieselbe hereingewölbt und gespannt. Erschlafft der Muskel, so vereinigt sich die eigne Elasticität des Trommelfells und die oben erwähnte Federkraft der torquirten Anheftungsmasse des *processus folianus*, den Hammer in seine natürliche Lage, das Trommelfell in seine natürliche Wölbung und Spannung zurückzuführen, ohne dass die Beihülfe eines besonderen *musculus laxator tympani* erforderlich wäre.

Fragen wir nach der akustischen Wirkung einer vermehrten Spannung des Trommelfells, so liegt die nächste Antwort in dem physikalischen Gesetz: Je stärker eine Membran gespannt wird, desto schwächer leitet sie den Schall. Der Beweis dafür lässt sich an Membranen ausserhalb des Ohres, die man in verschiedene Spannungsgrade versetzen kann, und am Trommelfell des eignen Ohres liefern.

J. Müller[1]) ahmte die Verhältnisse des Trommelfells durch



folgenden Apparat nach: eine hölzerne, unten offene und genau in den äusseren Gehörgang passende Röhre wird an ihrer oberen Oeffnung mit einer Membran überzogen, welche durch die Hebelbewegung eines an den Rand aufgebundenen Stäbchens in verschiedene Spannung versetzt werden kann. Setzt man diese Röhre in den einen Gehörgang, während der andere verstopft ist, so kann man sich leicht überzeugen, dass ein vor der Membran erzeugter gleichmässiger Schall in dem Maasse schwächer gehört wird, als man durch Eindrücken der Membran mittelst des Stäbchens dieselbe mehr spannt. Wir haben aber, abgesehn von dem Hammermuskel, noch ein einfaches Mittel, unser eignes Trommelfell willkührlich zu spannen, und den Einfluss dieser Spannung auf die Gehörsschärfe zu prüfen. Strengen wir bei zugehaltener Nase und Mund die Exspirationsmuskeln an, als ob wir ausathmen wollten, so können wir die verdichtete Luft durch die *tuba Eustachii* in die Trommelhöhle treiben, und durch diesen Druck das Trommelfell nach aussen drücken und spannen. Diese willkührliche Spannung ist gewöhnlich von einem summenden Geräusch im Ohre selbst begleitet. Es scheint indess, als ob jene gepressten Exspirationsbewegungen bei geschlossener Nase und Mund allein nicht genügten, die Luft in die Pauke zu treiben, es scheint dazu noch eine andere unbekannte Muskelthätigkeit erforderlich zu sein. Wenigstens kann ich willkührlich, während ich jene Anstrengung gleichmässig fortmache, die Erscheinungen der Trommelfellspannung eintreten und aufhören lassen, ebenso kann ich, während ich durch die offene Nase ausathme und nur der Luft den Weg durch die Mundhöhle versperre, willkührlich jenes Geräusch und die damit verbundenen Folgen hervorrufen und unterbrechen. Dieselben Erscheinungen treten häufig beim Gähnen ein. Nach Müller kann man auch den umgedrehten Weg zur Trommelfellspannung einschlagen, indem man durch starke Inspirationsbewegungen bei zugehaltener Nase und Mund die

---

1) J. Müller, Phys. II. p. 435.

Luft in der Pauke verdünnt, und so das Trommelfell nach innen zieht und spannt. Der Erfolg ist in beiden Fällen derselbe, in dem Moment, wo man das Trommelfell nach aussen oder innen spannt, tritt constant Schwerhörigkeit ein, und dauert so lange fort, als jene willkührliche Anstrengung währt, oder überdauert auch dieselbe, wahrscheinlich indem die sich aneinander legenden Wände der Tuba die augenblickliche Ausgleichung der Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft verhindern.

Die Schwerhörigkeit tritt jedoch nicht gleichmässig für hohe und tiefe Töne ein; tiefe Töne werden durch Spannung des Trommelfells weit eher unhörbar als hohe; man hört bei so gespanntem Trommelfell oft noch deutlich die leisen aber hohen Schläge einer Taschenuhr, während man intensivere aber tiefere Geräusche nicht mehr wahrnimmt. Bei noch grösserer Spannung werden indess auch die hohen Töne undeutlich. Die Trommelfellspannung hat demnach zwei wesentlich von einander verschiedene akustische Wirkungen, indem sie einmal eine Verminderung des Leitungsvermögens und daher Dämpfung der Schalleindrücke, zweitens eine Veränderung der Resonanz dieser Membran für Töne von verschiedener Höhe hervorbringt.

Die erste Wirkung ist aus dem Gesagten vollkommen erklärlich, die zweite bedarf noch einer kurzen Erläuterung. Wir müssen hierbei von dem Satze ausgehen, dass eine Membran durch einen Ton um so leichter in Schwingungen gesetzt wird, je näher der Ton demjenigen steht, der ihr selbst vermöge ihres Spannungsgrades zukommt. Das Mitschwingen des Trommelfells besteht aber nicht in einem selbstständigen Mittönen, so dass wir uns vorstellen müssten, ein äusserer Ton werde nur dann für uns wahrnehmbar, wenn das Trommelfell in demselben mittönte. Wäre dies der Fall, so würden wir von einer Reihe von Tönen jedesmal nur diejenigen hören, deren Schwingungszahl entweder der des Trommelfelles gleich wäre, oder wenigstens in einem einfachen Verhältniss zu ihr stände, wie dies die bekannten Gesetze des Mittönens lehren. Die Zahl der unterscheidbaren Töne könnte dann nur eine sehr geringe sein, oder es müsste für jeden einzelnen Ton das Trommelfell gleichsam erst gestimmt, in den entsprechenden Spannungsgrad versetzt werden; und selbst dann noch würden wir nicht Töne gleichzeitig hören können, deren Schwingungszahlen nicht in einfachem Verhältniss zu einander stehen, was aber doch be-

kanntlich der Fall ist. Es ist daher in unserem Gehörorgan das Selbsttönen des Trommelfells geflissentlich vermieden und zwar nach Seebeck [1]) durch die Einschaltung und Befestigung der Gehörknöchelchen an dieser Membran, durch welche sie mit der widerstandleistenden Oberfläche des Labyrinthwassers direct verbunden ist; die Grösse des Widerstandes vermindert nach Seebeck den Einfluss der Höhe des äusseren Tones auf die Stärke des Mitschwingens des Trommelfells. Es ist dasselbe durch dieses Mittel in den Stand gesetzt, bei einer grossen Reihe neben einander liegender Töne gleichmässig mitzuschwingen, ohne in seinem Grundton mitzutönen. Für die tiefen Töne ist das Trommelfell in seinem natürlichen Spannungsgrade zum Mitschwingen geeignet, für die Reihe der hohen Töne wird das Mitschwingen durch eine stärkere Spannung erleichtert. Daher kommt es, dass bei einer solchen Spannung, wie wir sie durch Verdichten oder Verdünnen der Luft in der Paukenhöhle hervorbringen, die Fähigkeit tiefe Töne zu vernehmen abnimmt, während sich das Wahrnehmungsvermögen für hohe Töne erhält, bis eine zu starke Spannung auch auf diese dämpfend einwirkt.

Nachdem wir so die mechanische Wirkung des *musculus tensor tympani* und deren akustischen Nutzen nachgewiesen haben, bleibt uns nur noch übrig, zu erörtern, auf welche Weise derselbe in Thätigkeit gesetzt wird. Man betrachtet den *tensor tympani* allgemein als willkührlichen Muskel; J. Müller führt dafür die Beschaffenheit seiner Fasern, und den Ursprung seiner Nerven an; dass die animalische Beschaffenheit seiner Fasern kein Beweis für seine willkührliche Beweglichkeit ist, werden wir in der Lehre von der Bewegung sehen, und ebenso dürfte aus seinen Nerven kein entschiedener Beweis zu führen sein. Als Aeusserung seiner willkührlichen Thätigkeit betrachtete schon Fabricius ab Aquapendente und nach ihm J. Müller und die meisten Physiologen das knackende Geräusch, welches viele Menschen willkührlich in ihrem Ohr erzeugen können.

Ich selbst kann dieses Geräusch beliebig oft hervorbringen, und anderen Personen bis auf einige Entfernung von meinem Ohre hörbar machen, kann mich aber durchaus nicht überzeugen, dass dasselbe die Folge der Contraction des fraglichen Muskels sei. Während nämlich J. Müller angiebt, dass es bei ihm in dem Moment eintrete, wo er aufhöre durch Eintreiben von Luft in die Pauke das Trommelfell nach

---

1) Seebeck, Poggend. Ann. LXII. p. 289.

aussen zu spannen, findet bei mir der umgekehrte Fall statt, das Geräusch tritt in dem Moment ein, wo ich beginne, die Luft in die Trommelhöhle zu treiben, es geht dem summenden Ton, der dabei entsteht, voraus, und schliesst nicht denselben, wie bei J. Müller. Die Anstrengung, welche ich machen muss, um das Knacken hervorzurufen, ist genau dieselbe, welche ich zum Auswärtsspannen des Trommelfells mache; niemals dagegen kann ich das Knacken hervorbringen, wenn ich jene Anspannung unterbreche, während ich umgekehrt das Eintreiben von Luft in die Pauke nicht beginnen kann, ohne dass unwillkührlich das Knacken entsteht. Mir ist es daher sehr wahrscheinlich, dass das fragliche Geräusch durch die plötzliche gewaltsame Spannung des Trommelfells nach aussen mittelst der eingepressten Luft, nicht aber durch die Spannung nach innen mittelst des Muskels hervorgerufen wird; ich sage wahrscheinlich, weil ich eben so wenig, wie Müller den Beweis führen kann, dass das Geräusch überhaupt von einer Spannung des Trommelfells, sei sie nach innen oder aussen, herrührt. Auch Harless [1]) widerspricht der Annahme Müller's, dass das Knacken durch plötzliches Einwärtsziehen des Trommelfells erzeugt werde, leitet es aber doch von der Contraction des Hammermuskels ab. Drehte er nämlich an der Leiche den Hammerkopf in der Richtung, in welcher der Muskel zieht, so sah er neben dem Handgriff ein Fältchen im Trommelfell sich erheben, und plötzlich wieder ausgleichen; beim Ausgleichen entstand ein knackendes Geräusch, welches dem willkührlich erregten vollkommen gleich klang. Sollte daher das letztere im Leben auf demselben Vorgang beruhen, so müsste ich annehmen, dass, wenn ich die Luft in die Pauke triebe, ein solches Fältchen durch die Contraction des Hammermuskels bereits gebildet sei und durch die andringende Luft ausgeglichen werde, oder dass durch die Luft eine Contraction des genannten Muskels erregt werde. Beide Annahmen dünken mir nicht sehr wahrscheinlich.

Mag nun der fragliche Muskel willkührlich beweglich sein oder nicht, so darf man wohl annehmen, dass seine regelmässige Wirksamkeit im Ohre ohne jedesmalige specielle Willensanregung vor sich geht, dass sie eine automatische, unbewusste ist; und zwar liegt der Gedanke am nächsten, die Contractionen des *tensor tympani* in gleicher Weise als Reflexbewegungen zu betrachten, wie die Zusammenziehungen der Irisfasern bei starken Lichteindrücken auf die *retina*. Man müsste demgemäss auch hier eine Reflexion von dem Sinnesnerven auf die

---

1) Harless a. a. O. p. 415.

motorischen Nerven des Muskels annehmen, so dass, wenn eine starke Schallschwingung durch Trommelfell, Gehörknöchelchen, Labyrinthwasser den Fasern des *acusticus* mitgetheilt würde, diese den Eindruck in das Gehirn leiteten, und durch die dort vorhandenen unbekannten Reflexionsapparate den Bewegungsnerv des *tensor tympani* in Thätigkeit setzten. Begreiflicherweise würde dieser mit seinen Contractionen dann regelmässig *post festum* kommen, oder wenigstens nur bei länger anhaltenden zu starken Geräuschen auf deren Fortsetzung dämpfend wirken können, nachdem der Anfang ungeschwächt bis zum Hörnerven gelangt wäre, und durch die zu grosse Intensität der Schallwellen schon nachtheilig auf denselben eingewirkt hätte. So unzweckmässig daher diese Bahn des Reflexes erscheint, so wenig können wir mit einiger Wahrscheinlichkeit eine andere nachweisen, bei welcher dieser Uebelstand gehoben, d. h. das Trommelfell bereits durch den Muskel gespannt wäre, wenn die intensive Schallwelle es erreichte.

Harless [1]) spricht von der Möglichkeit eines Reflexes von den sensitiven Nerven des äusseren Gehörganges aus auf den Nerv des Trommelfellspanners und zwar in folgender Weise: die Schallwelle setzt die feinen am Eingang des Gehörorgans befindlichen Härchen in Vibrationen, durch welche ein Eindruck auf die Gefühlsnerven hervorgebracht wird, wie der bei Berührung der Härchen entstehende Kitzel beweist. Wenn auch Harless für diese Möglichkeit die Beobachtung anführt, dass er bei Berührung jener Härchen im Ohre dieselbe Anstrengung wie bei willkührlicher (!) Trommelfellspannung fühle, so wendet er sich doch selbst mit Recht ein, dass die Schallwelle selbst bei dieser Reflexbahn noch eher das Trommelfell erreichen müsse, ehe die Erregung des motorishen Nerven eingetreten und die Contraction des Muskels vollendet sei, wie sich aus einer ungefähren Berechnung der Schnelligkeit der Nervenleitung durch die genannte Bahn in Vergleich mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles durch den Gehörgang ergebe.

Auf einen dritten, nicht auf Nervenreflex beruhenden Weg, auf welchem eine rechtzeitige Spannung des Trommelfells durch seinen Muskel gedacht werden kann, macht Harless aufmerksam, und zwar beruht derselbe auf einer mechanischen Ein-

---

1) Harless, a. a. O. p. 389.

wirkung der Schallwelle auf das Trommelfell selbst. Nach ihm befindet sich der Muskel fortwährend im Zustand der Ausdehnung und Spannung, indem das elastische Trommelfell an ihm wie ein Gewicht zieht. Beugt nun eine starke Schallwelle das Trommelfell nach innen, so wird der Zug dieses Gewichtes aufgehoben, die Elasticität des Muskels tritt in Wirksamkeit und zieht ihn zusammen; ehe noch das Trommelfell die Trägheit der Masse des Muskels überwinden und durch seine Rückschwingung ihn wieder ausdehnen kann, tritt schon ein neuer Stoss ein, der dasselbe in gleichem Sinne, wie der erste bewegt. Je schneller sich die Stösse folgen, je höher also der Ton, desto weniger wird dem Trommelfell Zeit zum Rückschwingen in den Intervallen bleiben, desto continuirlicher wird der Muskel durch seine Elasticität das Trommelfell nach hinten gespannt erhalten. Dies würde sehr gut zu unserem obigen Satze stimmen, dass gerade für hohe Töne ein gespanntes Trommelfell geeigneter ist, als ein schlaffes. Allein auch gegen diese Erklärung lässt sich so manches einwenden, so richtig ihre physikalische Grundlage ist; vor allem macht dieselbe die Gegenwart eines durch Nervenimpuls contractilen Muskels unnöthig, da dessen Rolle in der bezeichneten Weise ebenso sicher durch ein elastisches Band ausgeführt werden würde. Es dünkt uns daher immer noch wahrscheinlicher, dass die Spannung des Trommelfells durch von den Nerven aus vermittelte Contraction des *tensor tympani* herbeigeführt wird; sei es, dass sein motorischer Nerv durch den Willen, sei es, dass er durch Reflex erregt wird, und dann seine Wirkung nur für längere Schalleinwirkungen von Nutzen ist. Die Iris zieht sich ja auch erst dann zusammen, wenn die ersten intensiven Lichtstrahlen die *retina* bereits getroffen haben, und ihr Eindruck zu den Centralorganen durch den *opticus* fortgepflanzt ist.

Weit dunkler als die Wirkung und der Nutzen des eben betrachteten Muskels ist der des *musculus stapedius*, welcher bekanntlich mit seiner Sehne aus der *eminentia papillaris* hervorkommt, um sich im rechten Winkel mit der Achse des Steigbügels von hinten her an dessen Köpfchen anzusetzen. Der nächste mechanische Effect seiner Contraction kann kaum ein

anderer sein, als dass er das Köpfchen des Steigbügels nach rückwärts bewegt, wodurch nothwendig der hintere Theil des Fusstrittes des Steigbügels tiefer und fester in das ovale Fenster eingedrückt wird, während das vordere Ende des Fusstrittes das Hypomochlion bildet, um welches der ganze Fusstritt hebelartig bewegt wird. Da das Wasser des Labyrinths nicht comprimirbar ist, so muss es der eindringenden Steigbügelplatte ausweichen, und wird daher die *membrana tympani secundaria* nach aussen beugen und spannen. Diese Anspannung betrachtet Harless[1]) als Zweck der Steigbügelbewegung durch den *musc. stapedius*, letzteren daher als einen *tensor membranae tympani secundariae*. Der Nutzen einer Spannung dieser Membran ist derselbe, den wir für das Trommelfell erörterten; er besteht in der Verminderung der Intensität der durch die Luft der Paukenhöhle auf diese Membran fortgepflantzen Schwingungen. Zugleich wird möglicher Weise durch die Drehung der Steigbügelplatte um ihr eines Ende die Richtung, in welcher sich die durch die Gehörknöchelchen fortgepflanzten Schwingungen durch das Labyrinthwasser am intensivsten fortpflanzen, einigermaassen geändert, zu welchem Zweck, können wir nicht entscheiden.

Dass der *musc. stapedius* mittelbar auch das Trommelfell anspanne und so den *tensor tympani* unterstütze, dünkt mir nicht wahrscheinlich; denn wenn auch das Trommelfell einem groben mechanischen Zug, den man am Cadaver an diesem Muskel ausübt, etwas folgt, so glaube ich doch, dass im Leben eine Uebertragung der schwachen Bewegung des Steigbügels auf den Hammer und somit auf das Trommelfell durch das Gelenk zwischen Hammer und Ambos vereitelt wird. Uebrigens scheint mir schon die Richtung des Zuges am Steigbügel zur Anspannung des Trommelfells wenig geeignet.

Wir haben bis jetzt den Schall auf seinem Wege zu den Receptionsorganen vom äusseren Ohr durch Gehörgang, Trommelfell, Gehörknöchelchen, *fenestra ovalis* zum Labyrinthwasser verfolgt. Ehe wir uns zu dem Heerd der Schallempfindung selbst wenden, müssen wir noch andere Wege erörtern, auf denen der Schall zu jenem herantritt, den Nutzen aller der-

---

1) Harless, a. a. O. p. 380.

jenigen vor Labyrinth und Schnecke gelegenen Theile betrachten, welche zur Schallleitung in irgend einer Beziehung stehen.

§. 106.

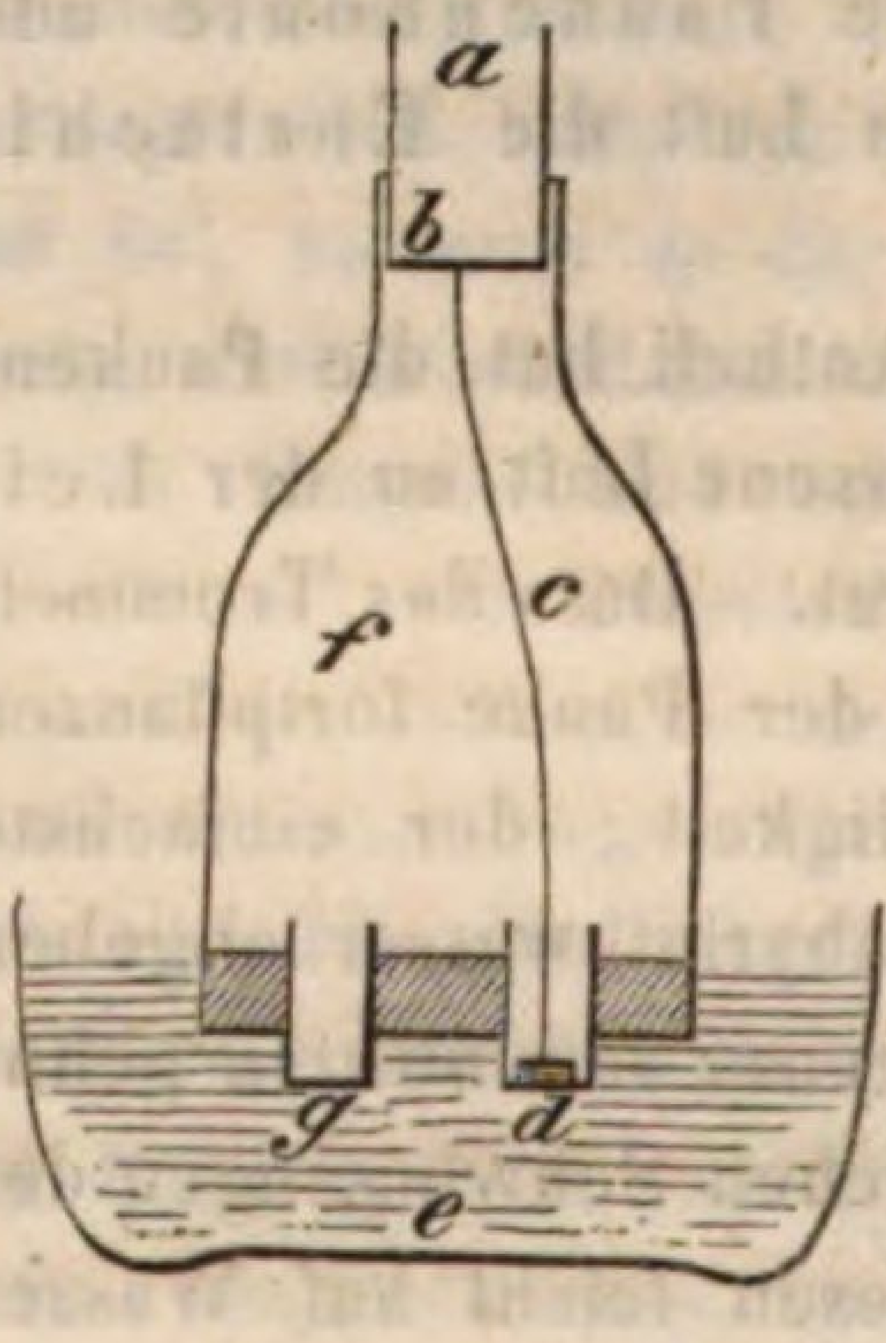
Zunächst beschäftigt uns daher die Paukenhöhle und ihr Communicationsweg mit der äusseren Luft die Eustachische Trompete.

Die erste Frage ist die, welchen Antheil hat die Paukenhöhle, d. h. die in derselben eingeschlossene Luft an der Leitung der Schallwellen zu dem Hörapparat. Dass das Trommelfell seine Schwingungen auf die Luft der Pauke fortpflanzen muss, ist eine physikalische Nothwendigkeit; der einfachste Weg, auf welchem diese sie an das Labyrinthwasser abgeben könnte, würde durch die *membrana tympani secundaria* gehn; denn, wie wir bereits gesehen haben, gehen Schwingungen der Luft leicht an Membranen und von diesen leicht auf Wasser über. Ein Umstand ist es jedoch, auf den zuerst Hyrtl[1]) aufmerksam gemacht hat, und welchen Harless[2]) besonders urgirt, welcher einer guten Schallleitung auf diesem Wege entgegensteht; das ist die Lage des runden Fensters. Da sich nach einem physikalischen Gesetz die Wellen stets in der Richtung des ursprünglichen Stosses am intensivsten fortpflanzen, so müsste die Membran des runden Fensters, um dieser Bedingung zu genügen, dem Trommelfell gerade gegenüber, parallel mit demselben ausgespannt sein. Dies ist jedoch nicht der Fall, im Gegentheil ist erstere Membran so beträchlich geneigt, dass kein Theil der vom Trommelfell ausgehenden Wellen sie in der bezeichneten günstigsten Richtung treffen kann. Indessen wird sie doch noch immer von Schallwellen getroffen und wird dieselben dem Labyrinthwasser mittheilen. Es fragt sich daher, wie verhält sich diese Leitung zu der durch die Gehörknöchelchen zum ovalen Fenster. Schon J. Müller[3]) hat durch seine Experimente erwiesen, dass, selbst wenn der Uebelstand der ungünstigen Neigung des runden Fensters beseitigt, dessen

---

1) Hyrtl: Ueber das innere Gehörorgan. p. 50. — 2) Harless, a. a. O. p. 381. — 3) J. Müller, a. a. O. p. 441.

Membran dem Trommelfell parallel gegenübergestellt wird, doch die Schallleitung durch die festen Gehörknöchelchen bei weitem stärker ist, als durch die Luft der Pauke und die genannte Membran.



J. Müller bildete die Verhältnisse dieser doppelten Schallleitung im Gehörorgan durch einen Apparat nach, dessen Construction aus der beifolgenden Zeichnung leicht verständlich ist. Wurde die mit einer Membran b (Trommelfell) geschlossene Pfeife a (Gehörgang) angeblasen, so pflanzte sich der Schall weit intensiver durch den festen Leiter c (Gehörknöchelchen) und die Membran d (ovales Fenster) auf das Wasser e (Labyrinthwasser) fort, als durch die Luft der Flasche f (Pauke) und die Membran g (*Membr. tymp. sec.*) auf dasselbe Wasser.

Die Schallleitung durch die Luft der Pauke und die *membrana tympani secundaria* ist demnach unstreitig sehr schwach im Verhältniss zu der durch die Gehörknöchelchen, erstens wegen der Natur der leitenden Medien, zweitens wegen der ungünstigen Lage der Membran. Sie kann noch mehr geschwächt werden durch die oben erörterte Wirkung des *musculus stapedius*, d. h. durch die vermehrte Spannung der Membran, welche aus denselben Gründen dämpfend wirkt, als die Spannung des Trommelfells. Es fragt sich daher, ob die *membrana tympani secundaria* überhaupt zu dem Zweck vorhanden ist, einen zweiten Weg der Schallleitung zu bilden; ihre Hauptbestimmung ist jedenfalls, das Ausweichen des Labyrinthwassers möglich zu machen, wie wir schon oben erwähnten, die Schallleitung dagegen zum Labyrinthwasser nur eine Nebenwirkung, welche durch die genannten Umstände (Lage der Membran und Wirkung des *m. stapedius*) wahrscheinlich absichtlich noch geschwächt wird. Dass die von der *fenestra rotunda* in das Labyrinthwasser gelangten Wellen durch Kreuzung mit den von der *fenestra ovalis* kommenden den Schall verstärken können, ist nicht zu läugnen; ebenso ist es möglich, dass die auf ersterem Wege zu den Hörnerven gelangenden Wellen durch ihren

Klang sich von den durch die Gehörknöchelchen fortgepflanzten unterscheiden, da mit der Verschiedenheit der leitenden Medien Verschiedenheit des Klanges verbunden ist.

Die Trommelhöhle leistet jedenfalls wichtigere Dienste als resonirender Apparat, wie als leitender. Ihre festen knöchernen Wände mit ihren vielfachen Erhabenheiten und Vertiefungen werden nothwendig die Schallwellen in den verschiedensten Richtungen reflectiren und dadurch zur Bildung von Kreuzungspunkten Veranlassung geben, welche den Schall wesentlich verstärken. Die Luft der Paukenhöhle wird ebenso resoniren, wie die Luft in dem Instrument, nach dem sie benannt ist, wie die Luft in dem Kasten eines Saiteninstrumentes. Nach dem physikalischen Gesetz, dass Schallwellen eben sowohl von Luft auf feste Körper, als umgekehrt von festen Körpern auf Luft nur schwer und unvollkommen übergehen, lässt sich schliessen erstens, dass die festen Wände der Trommelhöhle wenige von den Schallwellen der in ihr enthaltenen Luft absorbiren, sondern die meisten reflectiren, und zweitens, dass die Gehörknöchelchen wenige der in ihnen fortschreitenden intensiven Schwingungen an die Paukenluft abgeben. Die Luft der Trommelhöhle isolirt vielmehr die Gehörknöchelchen, bewirkt, dass die vom Trommelfell empfangenen Schwingungen in ihnen concentrirt und ungeschwächt, ja durch Reflexion in ihnen selbst verstärkt zur *fenestra ovalis* fortschreiten. Die wenigen Schwingungen, welche wirklich von ihnen in die Luft der Trommelhöhle übergehen, werden zwar ebenfalls in derselben durch Resonanz beträchtlich verstärkt werden, weit mehr aber betrifft diese Resonanz die von dem Trommelfell kugelförmig in die Pauke auslaufenden Schallwellen.

So klar die Nothwendigkeit der Gegenwart einer *tuba Eustachii* auf der Hand liegt, da wir nirgends dieselbe vermissen, wo wir eine Trommelhöhle vorfinden, da die Verstopfung derselben z. B. bei Catarrhen offenbar Schwerhörigkeit und qualitative Modificationen der Gehöreindrücke bedingt, so schwierig ist die Deutung ihres speciellen Nutzens für das Gehörorgan. Wir besitzen eine grosse Anzahl von Theorien über

ihre Function; ein grosser Theil derselben aber basirt auf unrichtigen physikalischen und physiologischen Prämissen, ein anderer erklärt uns nur mehr oder weniger unwichtige Nebenverrichtungen des in Rede stehenden Theiles, und selbst die wenigen plausibeln Hypothesen sind eben nur Hypothesen.

Wir werden nur die wichtigsten derselben einer Betrachtung unterwerfen; eine ausführliche physikalisch-physiologische Würdigung aller Erklärungsversuche der Function der *tuba* findet sich bei J. Müller[1]).

Die erste Frage ist: dient die Eustachi'sche Trompete als schallleitender Apparat? Ist sie bestimmt, wie der äussere Gehörgang Schallwellen den vor dem Labyrinth befindlichen Membranen zur weiteren Fortpflanzung zuzuleiten? Die Antwort darauf ist nicht so einfach, wie sie von Vielen gegeben worden ist. Ist die Tuba ein offener lufthaltiger Kanal, welcher einen Communicationsweg zwischen Trommelhöhle und der Luft der Rachenhöhle darstellt, so müssen nothwendig Schallwellen, welche in letzterer entstehen, durch diesen Kanal zur Trommelhöhle gelangen; ist sie verschlossen durch Schleim oder Aneinanderkleben ihrer Wände, so fällt diese Leitung natürlich weg. Von aussen in die Rachenhöhle fortgepflanzte Schallwellen werden nur spärlich in die Trompete gelangen, einmal weil das Gaumensegel wie ein Vorhang zwischen ihr und der Mundhöhle liegt, und daher ein directes Eindringen der Luftwellen von dieser aus verhindert, zweitens weil ihre Mündung den durch Mund oder Nase kommenden Schallwellen nicht senkrecht gegenübersteht. Es fragt sich: wie verhält es sich mit den von innen d. h. von unserem Stimmorgan kommenden Schallwellen? Hören wir unsere Stimme durch die Ohrtrompete? Dies wird nothwendig der Fall sein müssen, sobald dieselbe eben offen ist. Wenn wir das Picken einer frei in die Luft der Mundhöhle gehaltenen Uhr um so undeutlicher vernehmen, je tiefer wir sie in dieselbe einführen, so beweist dies nur, dass von der Mundhöhle aus keine oder wenige Schallwellen in die *tuba* gelangen, weil sie durch das *velum palatinum* davon abgesperrt werden, beweist aber nicht, dass die hinter dem Gaumen-

1) J. Müller, a. a. O. p. 445.

segel vom Kehlkopf kommenden Schallwellen unserer Stimme nicht in die Trompete eindringen. Dass letzteres der Fall ist, beweist folgender Versuch. Halte ich einen Ton gleichmässig stark aus, während ich nur durch die Nase ausathme, und treibe dann plötzlich auf die oben beschriebene Weise die Luft mit Gewalt in die *tuba*, so vernehme ich den Ton in demselben Moment so ausserordentlich intensiv, als ob Jemand durch eine Röhre unmittelbar in meinen äusseren Gehörgang sänge. Unterbreche ich das willkührliche Eintreiben der Luft, so vernehme ich den Ton nur ebenso, als ob er ausserhalb in der Luft erzeugt wäre und durch diese auf gewöhnliche Weise zum Ohr gelangte. Sei es nun, dass durch das Eintreiben der Luft die *tuba* erst wegsam gemacht wird, oder dass ihre Mündung und ihr Kanal durch Compression nur erweitert wird, so bleibt doch kein Zweifel, dass unsere Stimme durch die Trompete sehr intensiv gehört werden kann. Damit ist aber noch nicht gesagt, dass wir beim gewöhnlichen Sprechen und Singen unsere Stimme hauptsächlich durch die *tuba* hören, und noch viel weniger, dass in der Zuleitung unserer Stimme die wesentliche Bestimmung dieser Röhre liege. Es spricht schon dagegen, dass sich durchaus keine Nothwendigkeit einer solchen Zuleitung einsehen lässt, da unsere Stimme ganz entschieden mit hinreichender Intensität nicht nur durch die äussere Luft und den äusseren Gehörgang, sondern auch durch die festen Schädeltheile dem Hörnerven zugeleitet wird; es spricht ferner der Umstand dagegen, dass unsere Ohrtrompete höchst wahrscheinlich nicht immer wegsam ist, dass wir, wenn sie gewiss verschlossen ist (z. B. durch einen Catheter), unsere Stimme ohne merkliche Schwächung vernehmen, dass endlich beim Sprechen und Singen durch Hebung des Gaumensegels die Schallwellen gegen die Mundhöhle, nicht aber gegen die Mündung der Trompete dirigirt werden.

Wir müssen daher die Bestimmung dieses Theiles in anderen Verrichtungen suchen und zwar in solchen, bei denen dieselbe als Ausgang und nicht als Zugang der Paukenhöhle in Betracht kommt. Die meiste Beachtung scheint uns die zuerst von Henle aufgestellte Ansicht zu verdienen, dass die *tuba*

dieselbe Bedeutung habe, wie die Oeffnung in dem Resonanzboden eines Saiteninstrumentes. Wie der Klang einer Violine verloren geht, wenn der resonirende Luftraum in derselben geschlossen ist, oder die Oeffnung zu klein oder zu gross ist, so wird nach Henle die Paukenhöhle bei geschlossener *tuba* zur Resonanz unfähig. Damit ist freilich noch wenig erklärt, da wir noch nicht im Stande sind, die Nothwendigkeit dieser Oeffnung, ihrer Form und Grösse von physikalischen Gesetzen zu deduciren. J. Müller[1]) suchte auch diese Verhältnisse durch Versuche mit schematisch nachgebildeten Apparaten zu eruiren, ist aber zu keinen entscheidenden Resultaten gelangt.

Eine kurze Röhre resonirte den Ton einer Stimmgabel besser, wenn eine lange Seitenröhre durch eine weite Oeffnung mit ihr communicirte; dagegen wurde die Resonanz nicht verstärkt, wenn die Communicationsöffnung eng war, wie dies die Einmündungsöffnung der *tuba* in die Pauke ist.

Eine weitere der *tuba* zugeschriebene Bedeutung ist die, als Communicationsweg zwischen Pauke und äusserer Luft das Gleichgewicht der vor und hinter dem Trommelfell befindlichen Luftschichten herzustellen, zu verhindern, dass die erwärmte, mit Wasserdampf gesättigte Luft der Trommelhöhle eine zu differente Dichtigkeit gegen die bald kalte, bald warme verschieden dichte äussere Luft besitze. Hierbei ist aber zu bedenken, dass die lange enge in den Rachen mündende *tuba* eine höhere Temperatur der Paukenluft, die Sättigung mit Wasserdämpfen und somit eine von der äusseren Luft verschiedene Dichtigkeit nicht wird verhindern können, dass zweitens eine differente Dichtigkeit der äusseren und inneren Luft weder auf die Leitungsfähigkeit, noch auf die Resonanz der Paukenluft von Einfluss ist, sobald nur die letztere an sich eine für diese Verrichtungen geeignete Dichtigkeit hat. Wenn es in dieser Beziehung scheinen könnte, als sei eine abgeschlossene Pauke, in welcher eine gleiche Temperatur und Dichtigkeit der Luft erhalten würde, passender, so giebt es doch einen Umstand, welcher eine gewisse Ausgleichung zwischen äusserer und innerer

---

1) J. Müller, a. a. O. p. 446.

Luft nothwendig macht, und dies ist die Spannung des Trommelfells. Mag die Luft einseitig verdichtet oder verdünnt werden, so muss eine vermehrte Spannung des Trommelfells entstehen, dass diese aber die Intensität der Schalleindrücke schwächt, haben wir oben ausführlich erörtert.

Vielleicht ist auch noch aus einem andern Grunde ein fortwährender Austausch zwischen Trommelluft und äusserer Luft nöthig; es ist nämlich sehr wohl denkbar, dass eine stagnirende Luft in dem Paukenraum chemische Veränderungen erleiden würde, welche sie zu ihren Verrichtungen untauglich machten. Wenn wir auch keinen eigentlichen Respirationsprocess in diesem Theil statuiren können, so ist doch ein, wenn auch langsamer, Gasaustausch zwischen dem Blut der Paukenwandgefässe und der Paukenluft sehr wahrscheinlich, ebenso wie wir im Darm eine Wechselwirkung zwischen verschluckten oder aus den Speisen entwickelten Gasen mit denen des Darmcapillarenblutes eintreten sehen. Ein Luftwechsel durch die *tuba* aus diesem Grunde hat daher mindestens eben so viel für sich, als der aus anderen Gründen statuirte. Wir fügen noch hinzu, dass vielleicht das Flimmerepithelium, welches die *tuba* auskleidet, für diesen Wechsel der Luft durch dieselbe von grösserer Bedeutung ist, als für die Ausführung flüssiger Stoffe, für die man es gewöhnlich bestimmt glaubt.

Dass die Luft der Paukenhöhle, wenn sie nach aussen abgeschlossen wäre, nicht schwingen könnte, ist eine unphysikalische längst widerlegte Annahme. Verdichtungs- und Verdünnungswellen schreiten auch in eingeschlossenen Luftsäulen fort.

Wir übergehen die übrigen mehr oder weniger haltlosen Hypothesen, durch die man den Nutzen der Eustachi'schen Trompete zu erklären versucht hat. Leider geht aus dem Gesagten hervor, dass eine vollständige physikalisch und physiologisch sicher begründete Aufklärung über diesen Punkt noch immer ein Problem der Physiologie bleibt.

§. 107.

Nachdem wir in unsern bisherigen Betrachtungen die Schallwellen der Luft auf ihrem gewöhnlichen Wege zum Labyrinth,

vom äusseren Ohr durch Gehörgang, Trommelfell, Gehörknöchelchen und Pauke begleitet, die Gesetze ihrer Leitung und Verstärkung auf diesem Wege erörtert haben, bleibt uns noch übrig, bevor wir zu dem Verhalten der Schallwellen im Labyrinth selbst übergehen, eines anderen Weges der Zuleitung des Schalles zu diesen Theilen zu gedenken. Es ist dies die Schallleitung durch die Schädelknochen, die Uebertragung der von diesen fortgepflanzten Wellen ohne Vermittlung von Membranen und Luftsäulen an das Labyrinthwasser und die Nervenreceptacula der Schnecke.

Die Schädelknochen sind feste elastische Körper; dass solche vortreffliche Schallleiter sind, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in ihnen weit beträchtlicher, als in der Luft ist, sind bekannte physikalische Thatsachen; wir haben die Anwendung solcher Leiter im Gehörorgan bereits bei der Betrachtung der Gehörknöchelchen kennen gelernt. Dass Schallwellen aus festen Körpern in Wasser übergehen, von den Schädelknochen also auf das Labyrinthwasser auch ohne Vermittlung von gespannten Membranen fortgepflanzt werden können, ist ebenso Thatsache. Es fragt sich daher nur, unter welchen Umständen und Bedingungen kommt beim Hören die Schallleitung durch die Schädelknochen in Betracht? Wie verhält sich dieselbe zu der Schallleitung auf dem oben erörterten Wege? Zur Beantwortung dieser Frage müssen wir uns auf das wichtigste Gesetz der Schallleitung überhaupt beziehen, dass sich der Schall am besten in demselben Medium, in welchem er entstanden ist, fortpflanzt, Schallwellen der Luft am besten in Luft, Schallwellen fester Körper am besten in festen Körpern. Je beträchtlicher die Differenz zwischen tönendem und leitendem Medium, desto unvollkommner die Fortpflanzung. Schallwellen der Luft gehen daher schwer an feste Körper über und umgekehrt. Bei dem Uebergang aus einem Medium in ein anderes wird stets ein Theil der Schallwellen reflectirt und nur ein Theil in dem neuen Medium fortgepflanzt. Wenden wir diesen Satz auf unsere Frage an, so folgt daraus, dass Schallwellen der Luft nur schwer und unvollkommen an die festen Schädelknochen übergehen können, dass wir daher durch die Luft fortgepflanzte

Töne nur sehr schwach durch Vermittlung der Schädelknochen hören, während sie leicht durch Hülfe der gespannten Membran des Trommelfells auf die Gehörknöchelchen übertragen werden. Kommt dagegen ein tönender fester Körper mit unseren Schädelknochen in Berührung oder befindet sich zwischen beiden ein fester Körper als Leiter, so werden die letzteren die Schallwellen ungeschwächt fortpflanzen, wir werden den Ton weit intensiver hören, als wenn er erst durch Vermittlung der Luft auf das Trommelfell übertragen werden muss. Bei allen in der Luft lebenden Thieren und so auch beim Menschen sind es fast ausschliesslich Luftwellen, welche zum Gehörorgan gelangen; nur in seltenen Fällen setzen wir unser Ohr durch feste Substanzen in leitende Verbindung mit tönenden festen Körpern. Beim Hören in der Luft bleibt daher die unmittelbare Schallleitung durch die Schädelknochen von sehr untergeordneter Wichtigkeit, trägt wenig oder nichts zur Verstärkung der Schallempfindung bei. Mittelbar betheiligen sich auch dann dieselben an der Fortpflanzung der Schallwellen, wie wir bereits gesehn haben; indem einerseits ein Theil der von dem äusseren Ohr aufgenommenen Wellen, andererseits ein Theil der von dem Trommelfell auslaufenden Wellen auf die Knochenmasse des Felsenbeins übergeht und von ihnen dem Labyrinth übergeben wird; aber auch diese mittelbare Leitung ist sicher gegen die durch die Kette der Gehörknöchelchen gehende verschwindend klein.

Wie stark die Leitung der Luftwellen durch die Kopfknochen allein ist, lässt sich bei gesunden Gehörorganen experimentell nicht ermitteln, weil wir unter keinen Bedingungen die Leitung auf dem gewöhnlichen Wege, die Mitwirkung der Membranen und Gehörknöchelchen ganz ausschliessen können, wie bereits J. Müller[1]) nachweisst. Stopfen wir selbst den äusseren Gehörgang fest zu, so wird doch noch immer ein beträchtlicher Theil der Luftwellen durch die Substanz des äusseren Ohres auf das Trommelfell und von diesem auf die isolirten Gehörknöchelchen übertragen werden; ja die Schädelknochen selbst müssen einen Theil ihrer Wellen an diese Theile

1) J. Müller, a. a. O. p. 455.

abgeben, und es werden daher dieselben stets leitend und resonirend mitwirken.

Nur bei solchen Tauben, bei denen das äussere Ohr und der gesammte Trommelhöhlenapparat gänzlich fehlt, Labyrinth und Hörnerv aber unversehrt sind, kommt die Leitung durch die Schädelknochen allein in Betracht. Die Erfahrung hat gelehrt, dass solche Menschen Luftwellen entweder gar nicht oder nur dann hören, wenn dieselben so intensiv und in so günstiger Richtung die festen Theile treffen, dass diese wirklich einen beträchtlichen Theil derselben aufnehmen; sie hören dagegen die Schallschwingungen, wenn ihre Schädelknochen durch feste Körper in leitende Verbindung mit den tönenden gesetzt werden; legt man seine Hand auf ihren Kopf, so kann man seine Stimme ihnen hörbar machen. Swan erzählt von einem Mädchen, welche die Töne des Pianoforte nur hörte, wenn sie ihre Hand an dasselbe legte[1]).

Von der intensiven Fortpflanzung der Schwingungen fester Körper durch die Schädelknochen überzeugen uns die einfachsten Experimente. Schlagen wir eine Stimmgabel an, und lassen sie schwingen, bis wir ihren Ton durch die Luft nicht mehr wahrnehmen, so hören wir einen intensiven Ton, sobald wir sie auf den Schädel setzen, um so intensiver, je weniger schlecht leitende Weichtheile zwischen der Gabel und den gut leitenden Knochen sind, am intensivsten daher beim Aufsetzen auf die Zähne, am schwächsten beim Aufsetzen auf die Zunge oder Backen. Verstopfen wir den äusseren Gehörgang und setzen die Stimmgabel an das äussere Ohr oder in unmittelbare Nähe des äusseren Gehörganges, so ist der Schall ebenso intensiv oder noch intensiver, als wenn wir den tönenden Körper auf die Zähne setzen. Dasselbe findet statt, wenn letzterer nicht unmittelbar an das Ohr gesetzt, sondern nur durch einen festen Leiter damit verbunden ist. Hängen wir einen eisernen Stab an eine Schnur, und führen die Enden derselben mit dem Finger in den verstopften oder offenen Gehörgang, so erzeugt das Anschlagen des Stabes eine so intensive Gehörsempfindung, wie die Schwingungen einer Glocke, wenn sie durch Luftwellen unserem Ohr mitgetheilt werden. Derselbe Versuch zeigt zugleich, wie viel die Resonanz der leitenden Körper zur Verstärkung

---

1) Vergl. Linke, a. a. O. I. p. 541.

der Schallempfindung beiträgt; denn wenn wir den Stab, statt ihn an der zum Ohr gespannten Schnur hängen zu lassen, befestigen und die Schnur erschlafft von ihm zum Ohr führen, so hören wir seine Schwingungen kaum stärker als durch die Luft. Die leitende Schnur verstärkt durch Eigenschwingungen den Schall; nehmen wir eine gespannte Darmsaite statt der Schnur, so hören wir den ihrer Spannung entsprechenden Ton neben dem des Stabes.

Eben so wenig aber, wie wir angeben konnten, wie viel von den Luftwellen allein durch die Schädelknochen zum Hörnerven gelangen, können wir ermitteln, wie viel von den Schwingungen fester Körper die Knochen unmittelbar an jenen abgeben, wie weit sich auch hier der Trommelhöhlenapparat an der Leitung und Verstärkung des Schalles durch Resonanz betheiligt, da wir kein Mittel haben, den Uebergang der Schallwellen von den Schädelknochen auf das Trommelfell, die Gehörknöchelchen und die Luft der Pauke zu verhindern. Den Beweis, dass diese Theile bei der Uebertragung des Schalls auf das Labyrinth mitwirken, und dieselbe begünstigen, liefert folgender Versuch. Legen wir eine Taschenuhr auf den Schädel, so vernehmen wir ihren Schlag stärker als durch die Luft, aber bei weitem nicht so intensiv, als wenn wir sie bei verstopftem Gehörgang in die Gegend des äusserem Ohrs halten, weil in letzterem Fall die Fortpflanzung der Wellen durch die Wände des Gehörgangs auf Trommelfell u. s. w. vollkommner ist als in ersterem.

Eine merkwürdige, noch nicht genügend erklärte Thatsache ist die, dass wir bei verstopftem äusseren Gehörgang den durch die Schädelknochen fortgepflanzten Schall intensiver hören, als bei offenem Gehörgang. Setzen wir eine tönende Stimmgabel auf den Schädel, so hören wir den Ton stärker, wenn wir beide Ohren verstopfen, setzen wir sie auf das rechte Schläfenbein und verstopfen das linke Ohr, so scheint uns der Schall auf letzterem weit stärker als auf dem offenen rechten, obwohl der tönende Körper diesem näher ist; setzen wir die Gabel auf die Zähne und verstopfen bald das eine, bald das andere Ohr, so erscheint der Ton jedesmal in dem verstopften intensiver, scheint vor oder in demselben zu entstehen. Alle physikalischen Erklärungen, welche über diese Erscheinung gegeben worden sind,

sind nicht stichhaltig. Harless [1]) sucht dieselbe auf eine psychische Täuschung zurückzuführen; er meint, dass uns der Ton in dem verstopften Ohr nur darum intensiver vorkäme, weil wir uns bewusst wären, dass wir gewöhnlich Schallwellen der Luft bei verstopftem Ohr schlechter hörten; vernähmen wir daher trotz der Verstopfung eines Ohres einen Schall ebenso stark auf diesem als auf dem offenen, so bildeten wir uns unwillkührlich ein, er sei auf ersterem intensiver. Aber auch diese Erklärung ist sehr unwahrscheinlich; ich kann mir nicht vorstellen, dass die ausserordentliche Verstärkung, welche der Ton einer auf die Zähne gesetzten Stimmgabel erhält, wenn ich beide Ohren gegen die Luftwellen verschliesse, auf einer derartigen Operation meiner Einbildungskraft beruhe. Viel wahrscheinlicher dünkt mir, dass die Schwingungen, in welche das Trommelfell durch die Luftwellen geräth, in irgend einer Weise den von den Knochen fortgepflanzten störend entgegenwirken. Halte ich die Uhr an das äussere Ohr in die Nähe des Gehörganges, so ist der Schall ziemlich gleich intensiv, mag ich das Ohr verstopfen oder nicht, vielleicht, weil in diesem Falle die Luftwellen und die Wellen des festen Gehörgangs in gleichem Sinne wirken, sich also eher unterstützen als gegenseitig schwächen werden.

Wie bereits erwähnt, rufen wir nur selten die Schallleitung von festen Körpern durch die Kopfknochen zum Gehörorgan zu Hülfe, um schwache Schallschwingungen der ersteren noch wahrzunehmen. In allen diesen Fällen aber benutzen wir das äussere Ohr und nicht eine beliebige Stelle des Schädels als festen Leiter, während zugleich eine gewisse Menge von Luftwellen durch den offenen Gehörgang von dem festen Körper zum Trommelfell gelangen. So legen wir das Ohr an die Wand, um die Schwingungen wahrzunehmen, in welche dieselbe durch jenseits erzeugte Schallwellen versetzt wird. Die interessanteste Anwendung der fraglichen Schallleitung ist für uns ohnstreitig die Auscultation mit oder ohne Stethoskop. Die schwachen Schallschwingungen der Herzklappen pflanzen sich durch eine Reihe fester Leiter bis in die Oberfläche des Brustkastens fort, gehen aber von dieser so schwach und unvollkommen in die Luft über, dass diese Luftwellen allein keine Gehörsempfindung erzeugen können; dagegen theilen sich die secundären Schwingungen der Brustwand

1) Harless, a. a. O. p. 329.

dem unmittelbar aufgelegten Ohrknorpel oder der festen Substanz des Stethoskops und von diesem dem Ohrknorpel in hinreichender Intensität mit, um im Gehörorgan selbst noch wahrnehmbare Schwingungen zu erregen. Das Stethoskop dient indessen nicht lediglich als fester Leiter, sondern erstens spielt die Resonanz seiner festen Wände eine beträchtliche Rolle, zweitens werden die wenigen von der Brustwand in die Luftsäule des Stethoskops übergehenden Schwingungen in demselben durch Reflexion von den Wänden condensirt unmittelbar durch die Luft des Gehörgangs dem Trommelfell zugeführt. Dass diese zweite Schallleitungsart von nicht unbeträchtlichem Einfluss auf die Intensität des Gehöreindrucks ist, davon kann man sich überzeugen, wenn man statt des röhrenförmigen Stethoskops einen soliden Leiter zwischen Brust und Ohr bringt.

Schliesslich haben wir noch zu erwähnen, dass gewiss auch beim Hören unserer eigenen Stimme die Leitung durch die festen Theile in Betracht kommt, und zwar werden sich hauptsächlich die Schwingungen der Stimmbänder selbst unmittelbar durch feste Leiter zum Gehörorgan fortpflanzen, während die von jenen ausgehenden Luftwellen theils durch die *tuba*, theils und vornehmlich durch die äussere Luft und das äussere Ohr zu den Aufnahmeorganen des Schalles gelangen.

§. 108.

Wir wenden uns nun zu dem Labyrinth selbst, um zu sehen, in welcher Weise daselbst die Schallwellen aufgenommen und den Nervenenden mitgetheilt werden. Die Bestimmung der einzelnen Theile, aus denen das Labyrinth besteht, zu eruiren, ihren speciellen Nutzen physikalisch nachzuweisen, ist bis jetzt immer noch nur unvollkommen gelungen. — Das Labyrinth ist im Wesentlichen ein von knöchernen sehr harten Wänden umgebener, mit einer wässerigen Flüssigkeit gefüllter Raum; in dieser Flüssigkeit sind häutige wieder mit Wasser gefüllte Bläschen und Kanälchen, auf denen sich die Hörnervenfasern verzweigen, so suspendirt, dass sie ringsum durch eine Flüssigkeitsschicht von den knöchernen Wänden getrennt sind; in dem einen Theil des Labyrinths, der Schnecke, hängen die Träger

des Nerven mit den festen Wänden unmittelbar zusammen. Zu der Höhle dieses Raumes führen, wie wir bereits gesehen haben, von der Paukenhöhle aus zwei mit Membranen verschlossene Oeffnungen, das ovale und das runde Fenster, deren ersteres in unmittelbarer Verbindung mit dem Fusstritt des Steigbügels steht.

Bei dieser Einrichtung ist es eine physikalische Nothwendigkeit, dass alle Schallwellen, welche an das Labyrinth herantreten, sei es durch die Gehörknöchelchen und das ovale Fenster, sei es durch die Luft der Pauke und das runde Fenster, sei es endlich durch die festen Schädelknochen, das Labyrinthwasser in Schwingungen setzen, in Wasserwellen verwandelt werden müssen. Es ist ebenso klar, dass diese Schwingungen des Wassers überall unmittelbar die Receptacula der Nerven treffen, auf sie übergehen müssen. Zu den Nerven des Vorhofs und der Ampullen führt durchaus kein anderer Weg für die Schallwellen, als durch das Labyrinthwasser, von diesen kann absolut keine Welle empfunden werden, welche nicht auf Schwingungen der Perilymphe reducirt ist; zu den Nerven der Schnecke können noch auf einem zweiten Wege Schallwellen gelangen, indem dieselben direct von den Schädelknochen auf die knöcherne Grundlage der Schnecke und die damit verbundene, theils knöcherne, theils häutige Aufnahmeplatte der Nerven übergehen. Daraus folgt wiederum, dass alle Wellen, welche von dem Trommelfell aus durch die Gehörknöchelchen und durch die Luft der Pauke und das runde Fenster (so wenig der letzteren auch sein mögen) dem Labyrinth zugeleitet werden, nothwendigerweise das Labyrinthwasser passirend, dieses in Schwingungen setzen müssen, ehe sie zu den Nerven und durch diese zur Wahrnehmung kommen, dass dagegen die durch die festen Knochen an die Labyrinthwände gelangenden Wellen nothwendig eben sowohl das Labyrinthwasser in Schwingungen versetzen und so zum Nerven kommen, als direct durch den festen *modiolus* der Schnecke an den Schneckennerven herantreten müssen. Von welcher Art die Schwingungen des Labyrinthwassers sein müssen, geht schon aus unseren früheren Betrachtungen hervor. Wir haben gesehen, dass nur in seltenen Fällen so intensive

Stösse das Trommelfell treffen, dass dieses in transversale Schwingungen geräth, wir haben Einrichtungen kennen gelernt, welche theils zur Verminderung der Intensität der Trommelfellschwingungen, theils zur Schwächung der Fortpflanzung zu intensiver Stösse durch die Gehörknöchelchen sowohl, als durch die Membran des runden Fensters auf das Labyrinthwasser bestimmt sind. Wir haben aber auch bereits in der Membran des runden Fensters ein Mittel erkannt, welches das Ausweichen des nicht compressibeln Labyrinthwassers bei den von den Gehörknöchelchen ihm mitgetheilten Stössen möglich macht (E. H. Weber[1]).

Eine genaue physikalische Zergliederung der Wellen des Labyrinthwassers, die Erforschung ihrer Richtung und Reflexionsbahnen, der Stellen, wo Kreuzungspunkte entstehen durch Zusammentreffen der von verschiedenen Seiten (ovales und rundes Fenster, Kopfknochen) ankommenden und reflectirten Wellen, ist aus leicht begreiflichen Gründen für jetzt ein unlösbares Problem. Nur einige allgemeinere physikalische Verhältnisse der Schallleitung und Resonanz im Vorhof und den halbzirkelförmigen Kanälen sind namentlich durch die classischen Untersuchungen von J. Müller[2]) aufgeklärt worden. Die Bedeutung der Schnecke, insbesondere als unmittelbarer Leiter der durch die Kopfknochen fortgepflanzten Schallwellen zu den Nervenenden, hat zuerst E. H. Weber[3]) festgestellt.

Zunächst haben wir den Beweis zu führen, dass die Schallwellen des Labyrinthwassers durch Reflexion und Resonanz von den einschliessenden festen Wänden verstärkt werden. J. Müller wies die Reflexion der Wasserwellen von festen Wandungen durch folgenden Versuch nach. Wurde ein mit Wasser gefüllter Glascylinder in einem mit Wasser gefüllten Becken so gehalten, dass er nirgends die Wände des letzteren berührte, und sodann in seinem Innern unter Wasser ein Ton erzeugt, so wurde dieser Ton in der Nähe der Cylinderwände durch

---

1) E. H. Weber, Berichte über d. Vers. deutscher Aerzte u. Naturf. in Braunschweig 1841. p. 83. — 2) J. Müller, a. a. O. II. p. 459. — 3) E. H. Weber, *Annot. anatom.* 1834.

einen Conductor sehr verstärkt gehört. Dass diese Verstärkung nicht durch Resonanz der Cylinderwände selbst erzeugt wurde, ging daraus hervor, dass die Intensität sich gleich blieb, wenn auch durch Bestreichen der Innenwände des Cylinders mit Talg und Umfassen der Aussenwände mit den Händen die Eigenschwingungen desselben verhindert wurden. Nichts desto weniger verstärken die festen Wände auch durch Resonanz die Schallwellen der von ihnen eingeschlossenen Flüssigkeitssäule, wie am besten folgender Versuch zeigt (Harless[1]). Schlägt man mit einem Holz an eine steinerne Kugel, so giebt sie nur einen matten klanglosen Schall. Stellt man nun einen mit Wasser gefüllten Glascylinder auf eine elastische Unterlage, und schlägt die Kugel in diesem Wasser an, so erhält ihr Schall einen hellen Klang. Stellt man das Gefäss auf eine weiche unelastische Unterlage, so wird der Schall wieder klanglos, wenn das Anschlagen in der Richtung der Längsachse des Cylinders erfolgt, bleibt aber klangvoll beim seitlichen Anschlagen der Kugel. Hemmt man die Seitenwände des Cylinders durch Umfassen mit den Händen an Eigenschwingungen, so wird umgedreht der durch seitliches Anschlagen erzeugte Schall klanglos, während der durch senkrechten Schlag erzeugte klangvoll bleibt, wenn der Boden nicht zugleich am Mitschwingen gehindert ist. Dass bei senkrechtem Anschlagen der Kugel der Boden, bei seitlichem die Seitenwände des Cylinders hauptsächlich resoniren, ist eine nothwendige Folge des schon oben citirten physikalischen Gesetzes, dass sich die Schallwellen am intensivsten in der Richtung des ursprünglichen Stosses fortpflanzen.

In dem Labyrinth haben wir aber ausser dem Verhalten der knöchernen Wände auch noch das der suspendirten häutigen Säckchen und Röhren gegen die Wellen des Labyrinthwassers zu berücksichtigen. Aus den Experimenten lässt sich so viel schliessen, dass zwar die Wände einer häutigen mit Wasser gefüllten Blase an und für sich im Stande sind, den in ihr erzeugten Schall in gewissem Grade zu resoniren, dass aber so dünne häutige Wände, wie wir sie im Labyrinth vor

---

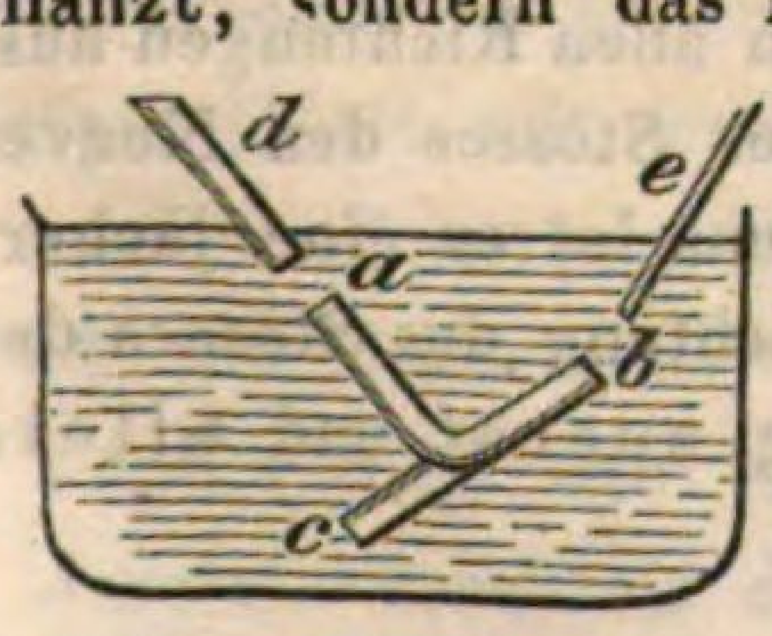
1) Harless, a. a. O. p. 338.

uns haben, die Fortpflanzung der Schallwellen durch sie bis zu den festen Wänden und zurück durchaus nicht hindern.

Hing Harless in den oben erwähnten mit Wasser gefüllten Glascylinder eine mit Wasser gefüllte Blase, so erhielt der Schall der innerhalb der letzteren angeschlagenen Kugel denselben Klang, wie bei fehlender Blase, mochte die Blase straffer oder schlaffer sein; wurde der Schall innerhalb der mit Wasser gefüllten in Wasser untergetauchten Blase allein (ohne sie umgebende feste Wände) erzeugt, so erhielt er einen Klang, der dem Percussionston der Blasenwände glich und mit zunehmender Schlaffheit der letzteren mehr und mehr tympanitisch wurde.

Eine weitere, bei Betrachtung der halbzirkelförmigen Kanäle aufstossende Frage ist die: welchen Einfluss hat die röhrenförmig gekrümmte Gestalt dieser Theile auf die Fortpflanzung der Schallwellen? In lufthaltigen Röhren lehrt die Physik eine Fortleitung des Schalls mit unverminderter Elongation der schwingenden Lufttheilchen; es fragt sich, findet dieses Gesetz auch Anwendung auf mit Wasser gefüllte Röhren? J. Müller wies nach, dass dies nur in geringem Grade der Fall ist, dass nur bei kurzen Röhren der Schall ungeschwächt in der Richtung der Röhre sich fortpflanzt, aber schon bei Röhren von 1′ Länge durch Uebergabe eines Theiles der Wasserschallwellen an die festen Wände eine bedeutende Schwächung erleidet. Es ist klar, dass die unbedeutende Länge der halbzirkelförmigen Kanäle nicht in Betracht kommen kann, dass diese daher als Röhren, abgesehen von der Resonanz ihrer festen Wände, den Schall condensirt in der Richtung ihre Achse fortleiten. Einige interessante Experimente von Harless mit kleinen geraden und gekrümmten Wasserröhren erweisen dies auf das Evidenteste.

Namentlich müssen wir eines Versuches Erwähnung thun, aus welchem sicher hervorgeht, dass es nicht die feste Substanz der Röhrenwände ist, welche den Schall in ihrer Richtung am intensivsten fortpflanzt, sondern das in ihnen enthaltene Wasser. Brachte Harless



eine kleine knieförmig gebogene Röhre a b unter Wasser, und blies durch eine mit Membran verschlossene Pfeife d einen Ton unter Wasser gegen ihr Ende a, so wurde dieser Ton durch einen Conductor e dann am intensivsten gehört, wenn dessen Ende der Oeffnung b gegenüber stand, schwach dagegen im übrigen Wasser, auch wenn der Conductor

ganz nahe an das Knie der Röhre gehalten wurde. War an dieses geschlossene Knie ein zweiter, bei c offener Röhrenschenkel rechtwinklig angeschmolzen, so wurde der Ton vor der Oeffnung c durch den Conductor nicht stärker gehört als im übrigen Wasser. Wären die Röhrenwände die Leiter des intensiveren Schalles, so müsste eben so wohl am Knie der Röhre als an c der Schall ebenso intensiv gehört werden, als an der Oeffnung b.

Es lässt sich demnach für die Bedeutung der Bogengänge im Gehörorgan aus diesen physikalischen Thatsachen wenigstens so viel schliessen, dass sie Schallwellen, welche auf das in ihnen enthaltene Labyrinthwasser fortgepflanzt werden, condensirt in der Richtung ihrer Achse fortleiten und somit den an ihren Anfängen gelegenen Ausbreitungen des Hörnerven auf den Ampullen verstärkt mittheilen. Und zwar wird dies eben sowohl der Fall sein, wenn das Wasser dieser Kanäle vom Vorhof aus (durch die Gehörknöchelchen) in Bewegung gesetzt wird, als wenn demselben Schallschwingungen von den Kopfknochen mitgetheilt werden, was bei dem schwierigeren Uebergang derselben von festen Theilen auf Wasser immer nur in geringerem Grade der Fall sein wird. Die alte Ansicht von Autenrieth und Körner[1]), dass die Bogengänge bestimmt seien die Richtung des Schalles zur Wahrnehmung zu bringen, welche auf keiner sichereren Grundlage, als auf einer teleologischen, d. h. auf der anatomischen Richtungsverschiedenheit der Kanäle basirt, bedarf kaum einer Widerlegung.

Schallwellen der Luft aus jeder beliebigen Richtung erzeugen durch Trommelfell und Gehörknöchelchen (sobald die Lage der Steigbügelplatte dieselbe bleibt) im Labyrinthwasser stets Wellen in derselben Richtung, wie aus den früheren Erörterungen zur Genüge hervorgeht. Die wenigen Luftwellen, welche an die Kopfknochen übergehen, werden zwar in diesen nach dem bekannten Gesetz in der Richtung des ursprünglichen Stosses am intensivsten fortgepflanzt; dass aber die Bogengänge, und wenn sie wie eine Windrose nach allen Richtungen ausgespannt wären, unmöglich die Richtung dieses Stosses den Nerven anzeigen können, ist leicht zu beweisen. Erstens ist es eine lächerliche Voraussetzung, dass bei einer gewissen Richtung des Stosses der diesen voraussätzlich entsprechende Bogengang zuerst und allein

1) Autenrieth und Körner, Reil's Arch. f. Phys. IX. p.355 u. f.

durch denselben getroffen werden soll. Wohl jede durch die Kopfknochen gehende Schallwelle ist breit genug, um alle drei Bogengänge mit gleicher Intensität zu treffen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit aber so gross, dass kein merklicher Intervall zwischen der Berührung der Welle mit den verschiedenen Bogengängen verfliessen kann. Zweitens geht aus den eben erörterten Leitungsgesetzen in den Kanälen hervor, dass alle drei Bogengänge gleichmässig und in gleichem Sinne die von den Kopfknochen empfangenen Schwingungen zu den Ampullen, und von da zu Vorhof und Schnecke fortpflanzen müssen. Welches auch die Richtung der Schallwelle sei, der Stoss pflanzt sich in jedem Kanal hauptsächlich in der Richtung seiner Krümmung fort, und wird von jedem aus durch das Labyrinthwasser allen Nervenreceptaculis mitgetheilt, ohne auf diesen oder jenen Theil derselben einen nach der Richtung des ursprünglichen Stosses verschiedenen Eindruck zu machen.

Wir werden später sehen, dass für die Beurtheilung der Schallrichtung weder die Bogengänge noch irgend ein anderer Theil des Labyrinthes eine Bedeutung hat, dass dieselbe überhaupt nicht der Gegenstand unmittelbarer Sinneswahrnehmung ist.

Das Labyrinthwasser der Schnecke steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem des Vorhofes und der halbzirkelförmigen Kanäle, das ganze Labyrinthwasser bildet eine einzige continuirliche Flüssigkeitssäule. Es ist daher klar, dass jede Schallwelle, welche es an irgend einer Stelle trifft, durch dasselbe zu allen Theilen des Labyrinths, zu allen den verschiedenen Ausbreitungsstellen des Hörnerven gelangt. Das Schneckenwasser wird daher eben so wohl in Schwingungen gerathen, wenn eine Schallwelle durch die Gehörknöchelchen zunächst das Vorhofwasser trifft, als wenn sie durch die Luft der Pauke und die Membran des runden Fensters ihm übergeben wird; die Welle wird in beiden Fällen gleichmässig den ganzen Schneckenraum durchlaufen, alle auf der Spiralplatte ausgebreiteten Nervenfasern treffen. Es wird aber auch umgedreht, wenn das Spiralblatt mit seinen Nerven direct von den Schädelknochen aus in Schwingungen gesetzt wird, dieses die Schwingungen an das Labyrinthwasser abgeben und durch dasselbe an den Vorhof und die Ampullen weiter befördern. Das Labyrinthwasser vermittelt daher, dass jede das innere Gehörorgan treffende Schallwelle alle Nervenenden des *acusticus* trifft. —

§. 108.

In welcher Beziehung die krystallinischen Concremente der Hörblasen des Vorhofes, die Otolithen, zum Hören stehen, ist noch nicht sicher ermittelt. Am wahrscheinlichsten ist die Annahme, dass sie bestimmt sind, als feste Körper durch Resonanz den zum Labyrinthwasser gelangten Schall zu verstärken, intensivere Schallwellen auf die Säckchen des Vorhofes und deren Nerven fortzupflanzen, als diese aus dem Wasser allein erhalten würden. Wir vermissen sie daher in dem ganzen Thierreiche nur bei wenigen Thieren, d. i. bei den Crustaceen und Insekten; bei diesen ist aber durch anderweitige Einrichtungen dafür gesorgt, dass der Schall in möglichster Stärke zu den Nerven fortgepflanzt, und durch Resonanz verstärkt werde. Eine Menge anderer Ansichten, welche über die Bedeutung der Otolithen aufgestellt wurden, sind haltlos. So nahm Linke[1]) die Möglichkeit an, dass die kleinen Krystalle, wie Staub von schwingenden Platten, von den schwingenden Wänden des Hörbläschens abgeworfen würden und in Chladni'sche Klangfiguren auf denselben sich ordneten. Dem widerspricht erstens der Umstand, dass bei dem Menschen und vielen Thieren die Concremente nicht frei beweglich, sondern in die Wand des Säckchens fest eingebettet sind, zweitens, wie J. Müller[2]) lehrt, dass im Wasser überhaupt Staub und andere Molecüle nicht dieselben Bewegungen machen, wie in der Luft. Auch dürfte diese Theorie schwerlich auf die Gehörorgane der Thiere anwendbar sein, wo wir in jedem Bläschen nur einen grossen Otolithen antreffen.

Bei einer grossen Anzahl von Thieren finden wir die Otolithen nicht fest mit der Wand der Bläschen verwachsen, sondern in continuirlicher Bewegung, wie wir schon oben pag. 388 erwähnten[3]). Bei den kleineren Concrementen ist

---

1) Linke, a. a. O. I. p. 515. — 2) J. Müller, a. a. O. p. 463. — 3) Vergl. v. Siebold, J. Müller's Arch. 1838. p. 125, Lehrb. der vergl. Anat. d. wirbell. Th. p. 160 u. 313. R. Wagner, Physiol. 3. Afl. p. 369.

diese Bewegung eine drehende, wirbelnde, während sie zugleich von den Wänden fortwährend abgestossen zu werden scheinen, sobald sie sich denselben nähern; die grösseren machen meist nur geringe Oscillationen.

Die Ursache, durch welche diese Bewegungen hervorgerufen werden, ist zuerst durch die Entdeckung R. Wagner's [1]) aufgeklärt worden, dass bei einer grossen Anzahl niederer Thiere auf der Membran der Hörbläschen ein Flimmerepithelium angebracht ist, dessen schwingende Cilien die kleinen Concremente in gleicher Weise in rotirende Bewegung setzen und abstossen, wie wir dies an jeder flimmernden Schleimhautfläche mit Blutkörperchen u. s. w. geschehen sehen. Es ist zwar noch nicht bei allen Thieren, deren Otolithen wir in Bewegung finden, die Gegenwart des Flimmerepitheliums nachgewiesen, aber dasselbe höchst wahrscheinlich doch vorhanden und nur durch seine Feinheit der Beobachtung entgangen. Dass es auch bei diesen Thieren die Otolithen in Bewegung setzt, dafür spricht ausser der Art und Weise, in welcher letztere tanzen, auch der Umstand, dass ihre Bewegungen zu gleicher Zeit stillstehen, wenn das Flimmerepithelium anderer Organe zur Ruhe kommt, und durch dieselben Agentien aufgehoben werden, durch welche das Flimmern der Cilien überhaupt sistirt wird, wie Harless [2]) beobachtete.

Viel schwieriger ist der Zweck der Otolithenbewegung zu deuten. Dass dieselbe zum Hören nicht absolut nothwendig ist, geht daraus hervor, dass sie gerade bei vielen höheren Thieren und selbst beim Menschen fehlt. Aus eben demselben Grunde hegen wir aber auch einige Zweifel gegen die Richtigkeit einer Auslegung dieses Phänomens, wie sie Harless [3]) versucht hat. Er glaubt, es sei Zweck der Bewegung, die Hörsteine von der Wand des Bläschens entfernt zu halten; wo die Bewegung fehle, seien andere Einrichtungen getroffen, den Steinchen nur eine Berührung mit möglichst wenigen Punkten zu gestatten (bei *Geryonia* und *Monocelis* ruhen die unbeweglichen Otolithen auf be-

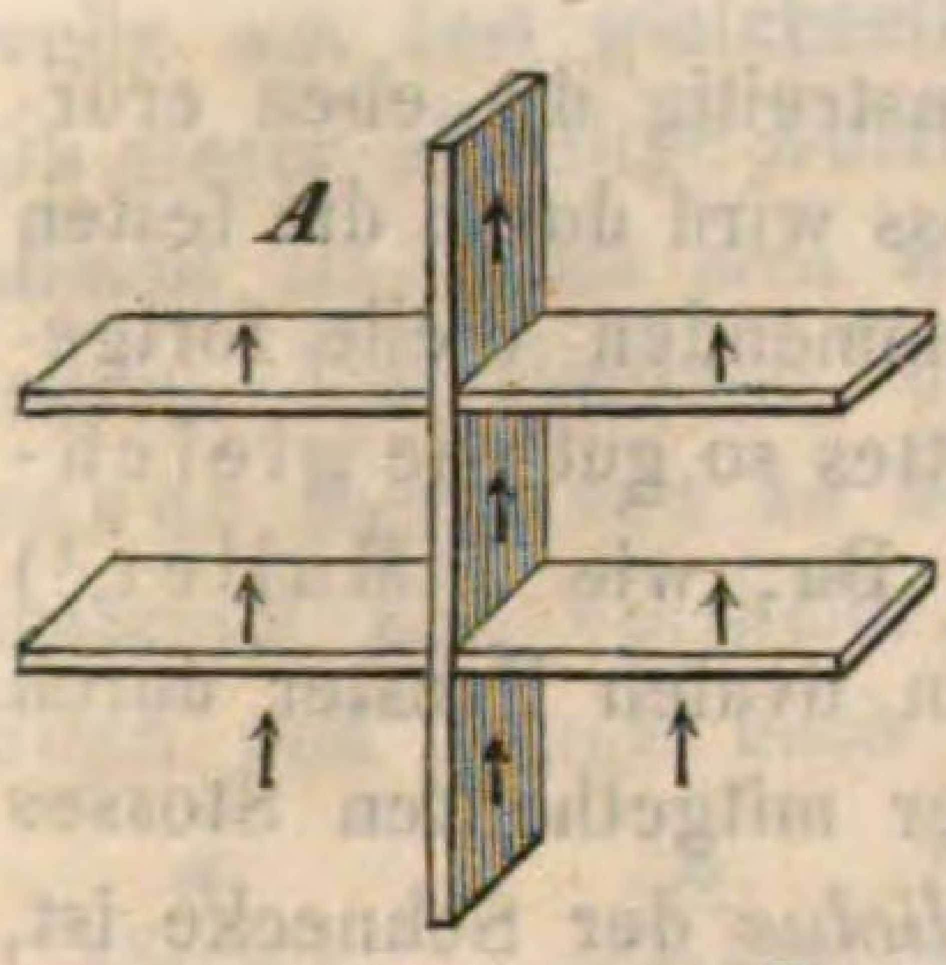
---

1) R. Wagner, Physiol. p. 351 u. 370. — 2) Harless, a. a. O. p. 322. — 3) Harless ebendas.

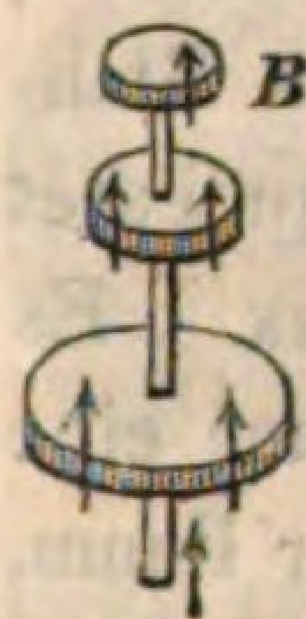
sonderen stielartigen Erhabenheiten. Den Grund der Fernhaltung der Steine von der Bläschenwand erklärt Harless auf doppelte Weise; er glaubt, dass dadurch eine Beschränkung der Ausbreitungsfläche des Vorhofnerven vermieden, und eine gleichmässige Austheilung der Schallwellen an alle Theile des Nerven bewirkt werde, während bei befestigten Otolithen die unmittelbar mit ihnen in Berührung stehenden Primitivfasern viel intensiver als die übrigen getroffen werden müssten.

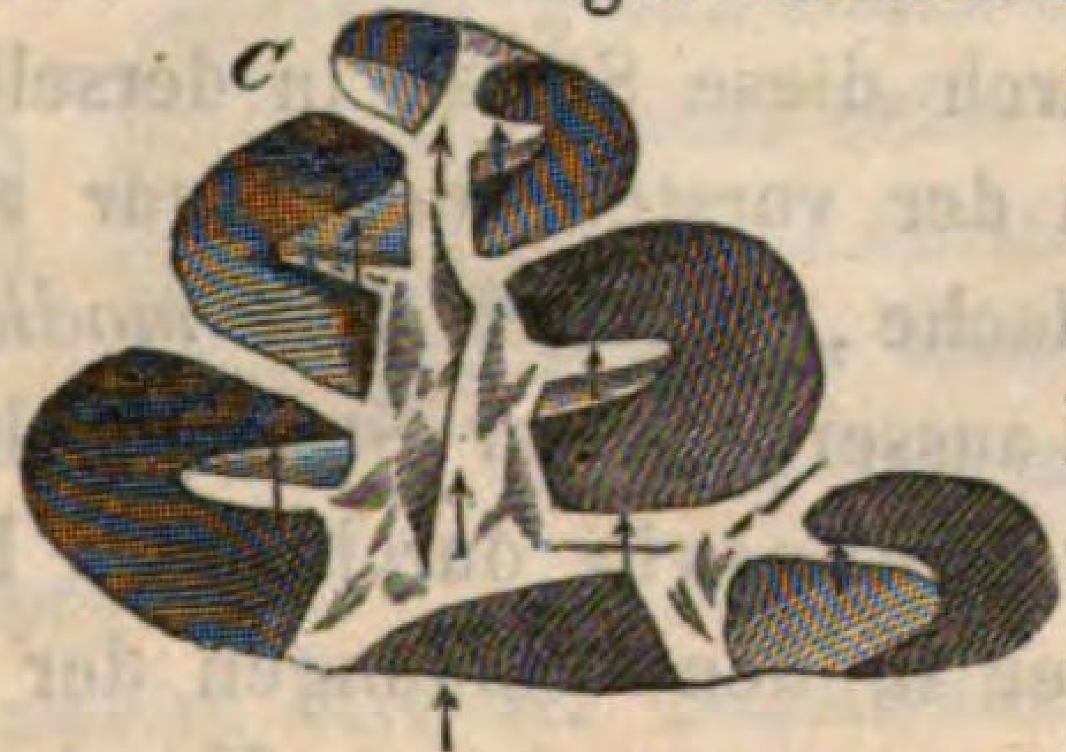
§. 109.

Es bleibt uns noch übrig, unter den einzelnen Apparaten des Labyrinthes die Schnecke einer gesonderten Betrachtung zu unterwerfen. Dieselbe unterscheidet sich, wie wir bereits öfter erwähnten, von den Nerventrägern des Vorhofs und der Ampullen wesentlich dadurch, dass die in ihr sich ausbreitenden Hörnervenfasern nicht frei auf häutiger Grundlage im Labyrinthwasser suspendirt sind, sondern durch die theils knöcherne, theils häutige Spiralplatte, auf der sie eingebettet sind, in unmittelbarer Verbindung mit den festen Wänden, mit den Kopfknochen stehen, während sie gleichzeitig vom Labyrinthwasser innig umspült sind. Diese Einrichtung macht es nöthig, dass jede Schallwelle, gleichviel woher sie komme, wenn sie den Schneckennerv in den zur Gehörsperception nöthigen Erregungszustand versetzen soll, auf seine feste Unterlage übertragen werden, dieselbe in Schwingungen versetzen muss. Es ist daher die Art der Schallleitung in diesen festen Theilen kurz zu erörtern. Wir müssen hier auf dasselbe von Savart ermittelte Gesetz zurückkommen, aus welchem wir oben die Fortpflanzungswege der Schallwellen durch die Kette der Gehörknöchelchen erläuterten: ein System unter Winkeln mit einander verbundener Platten pflanzt den Schall ohne Rücksicht auf die Lage seiner einzelnen Theile durch alle dieselben in der nämlichen Richtung, in der Richtung des ursprünglichen Stosses fort. Die Anwendbarkeit dieses Satzes auf die Schnecke leuchtet aus dem Bau derselben ein; die Analogie ihrer Construction mit einem Plattensystem, wie wir es schon bei den Gehörknöchelchen zeichneten, ergiebt sich aus den beifolgenden schematischen Figuren



von selbst. Der *modiolus* der Schnecke C entspricht der senkrechten Platte des Systems A und dem senkrechten Stiel des Systems B; die Spiralplatte entspricht den horizontalen Platten beider Systeme und unterscheidet sich von denselben nur dadurch, dass sie nicht aus getrennten Abtheilungen, sondern aus einer zusammenhängenden um den *modiolus* herumlaufenden Platte besteht, deren Durchschnitt, wie die Figur zeigt, überall mehr oder weniger senkrecht auf dem letzteren steht. Ebenso wie ein die Plattensysteme in der Richtung der Pfeile treffender Stoss in den horizontalen wie in den senkrechten Platten dieselbe Richtung beibehält, indem er sie durchläuft, muss ein auf die Schnecke in der Richtung des vorgezeichneten Pfeiles treffender Stoss alle Theile derselben, den senkrechten *modiolus*, wie das wagerechte Spiralblatt in unveränderter Richtung durchlaufen. Dieses Gesetz bleibt dasselbe, mag die Richtung des ursprünglichen Stosses sein, welche sie wolle; sie wird stets durch alle Theile der Schnecke gleichmässig beibehalten.





Wir haben schon im §. 107 angedeutet, dass zu der Spiralplatte der Schnecke Schallwellen auf einem doppelten Wege gelangen können. Während die Nerven des Vorhofes und der Ampullen den Schall immer nur durch Wasserwellen zugeleitet erhalten, mag er ursprünglich durch das ovale Fenster oder durch die Knochen dem Labyrinthwasser mitgetheilt worden sein, so können die Nerven der Schnecke, d. h. zunächst ihre Trägerin, die *lamina spiralis*, einmal durch die Wellen des Labyrinthwassers, zweitens aber auch direct durch die Schwingungen der mit ihr verbundenen Kopfknochen Stösse mitgetheilt erhalten. Was die Stösse des Labyrinthwassers betrifft, so ist eine doppelte Art der Fortleitung derselben durch die Schnecke denkbar. Trifft eine Wasserwelle an irgend einer Stelle die

festen Wände der Schnecke, so tritt unstreitig die eben erörterte Art der Fortpflanzung ein, der Stoss wird durch die festen Theile selbst in der Richtung der ankommenden Welle fortgeleitet, es werden alle Theile des Spiralblattes so gut wie gleichzeitig in demselben Sinne schwingen. Da, wie J. Müller[1]) hervorhebt, die Richtung des von dem ovalen Fenster durch die Gehörknöchelchen dem Vorhofwasser mitgetheilten Stosses parallel der Längsachse, d. i. dem *modiolus* der Schnecke ist, so wird die Spiralplatte durch diese Stösse in derselben Richtung schwingen, wie sie in der vorstehenden Figur angedeutet ist, senkrecht auf ihre Fläche, parallel dem *modiolus*. Es fragt sich aber, ob nicht ausserdem der Stoss noch auf eine zweite Weise die Schnecke successiv durchläuft. Der Raum, welchen das Labyrinthwasser in den Windungen der Schnecke einnimmt, stellt offenbar einen gewundenen Kanal vor; nun haben wir schon bei den halbzirkelförmigen Kanälen nachgewiesen, dass in mit Wasser gefüllten Röhren der Stoss sich hauptsächlich in der Richtung ihrer Achse fortpflanzt. Trifft also eine Wasserwelle den Eingang des Schneckenkanals, so muss sie nothwendig allmälig den ganzen Kanal durchlaufen, kommt daher successiv mit allen Theilen der Spiralplatte in Berührung und wird theilweise an dieselben übertreten. Es ist klar, dass sie in den Endtheilen des Kanals bei dem langen Wege, den sie zurückzulegen hat, später ankommen wird, als die unmittelbar durch die festen Theile fortgepflanzten Schwingungen, es ist ferner klar, dass sie in der Spitze der Schnecke bereits einigermaassen geschwächt sein wird durch die Abgaben an die festen Theile auf ihrem Wege, dass endlich die unterwegs abgegebenen Schwingungen sich selbstständig durch die festen Theile fortpflanzen werden. Wenn ein derartiger Ablauf einer in den Schneckenkanal kommenden Wasserwelle mir eine physikalische Nothwendigkeit zu sein scheint, so ist doch eine ganz andere Frage die: in welchem Verhältniss stehen die auf diesem Wege der Spiralplatte successiv ertheilten Stösse zu den unmittelbar von dem Punkt des ersten Anstosses der Wasser-

1) J. Müller, a. a. O. p. 465.

welle aus fast gleichzeitig durch die ganze Platte geleiteten? Ob dieser allmälige Ablauf zur Verlängerung des Eindruckes bestimmt ist, lässt sich weder beweisen, noch bestimmt widerlegen. Der Umstand, dass eben ein continuirlicher geschlossener Kanal von so beträchtlicher Länge (18''') gebildet ist, während alle Vortheile, welche man der Spiralplatte ihrer Form und Länge nach zuerkennt, ebenfalls erreicht würden, wenn das Schneckenwasser, wie die Figuren andeuten, entweder frei durch den ganzen Schneckenraum communicirte (a), oder in einzelne nicht mit einander verbundene Kammern abgesperrt wäre (b), scheint mir mehr für die fragliche Ansicht zu sprechen.

Die zweite Art der Schallzuleitung zu dem Nerventräger der Schnecke, der *lamina spiralis*, die directe Fortpflanzung der durch die feste Substanz der Schädelknochen geleiteten Schwingungen auf dieselbe ist sonder Zweifel die wichtigere; mit anderen Worten, die Schnecke ist jedenfalls mehr bestimmt, die durch die festen Theile fortgepflanzten Schallwellen zur Gehörsempfindung zu bringen, als die auf das Labyrinthwasser von dem ovalen Fenster oder auch von den festen Wänden aus übertragenen. Diesen Satz hat zuerst E. H. Weber[1]) ausgesprochen. Die physikalischen Beweise dafür liegen in dem schon mehrfach citirten Gesetz, dass sich der Schall am besten in demselbem Medium fortpflanzt, beim Uebergang aber aus einem dichteren in ein dünneres, oder umgedreht, jedesmal eine Schwächung erleidet, welche um so grösser ist, je beträchtlicher die Differenz der beiden Medien. Das Labyrinthwasser wird aus diesem Grund unter allen Umständen seine Schwingungen nur unvollkommen an das Spiralblatt abgeben, während sie von den Knochen aus mit ungeminderter Intensität auf dasselbe übergehen. Damit ist aber eben so wenig gesagt, dass die Schnecke keine Wasserwellen zur Empfindung brächte, als dass die Ner-

---

1) E. H. Weber, *De pulsu, resorpt., auditu et tactu annot. anatom. Lipsiae* 1834. *p.* 26.

ven der Vorhofsäckchen und Ampullen nicht auch von den Schädelknochen in das Labyrinthwasser übertragene Schwingungen aufnehmen könnten. Jede Schallwelle, sie mag kommen, woher sie wolle, wird, sobald sie an das Labyrinth übergeht, zu einer Wasserwelle reducirt, und durchläuft als solche das ganze Labyrinth, theilt sich allen Nerventrägern mit, intensiver aber denen des Vorhofes, als denen der Schnecke; die durch die Knochen geleiteten Wellen gehen ohne Schwächung an die Schnecke, geschwächt aber an das Labyrinthwasser über, die vom Trommelfell kommenden Wellen gehen dagegen mit Hülfe der Membranen intensiver an das Labyrinthwasser über. Es ist daher eine physikalische Nothwendigkeit, dass vom äusseren Ohr durch die Gehörknöchelchen geleitete Wellen intensiver durch den Vorhofsnerven, durch die Kopfknochen geleitete intensiver durch den Schneckennerven wahrgenommen werden. Wir haben schon oben (pag. 422) ausführlich nachgewiesen, dass beim Hören in der Luft nur wenige Schallwellen an die Kopfknochen übergehen, während Schallwellen fester Körper durch feste Körper ausserordentlich intensiv den Schädelknochen und durch diese dem Gehörorgan mitgetheilt werden, intensiver durch die Schädelknochen als durch die Luft gehört werden, dass sogar die gleichzeitige Zuleitung durch die Luft die Wahrnehmung der durch die Knochen geleiteten Schwingungen zu schwächen scheint. Die Bedeutung und Aufgabe der Schnecke bei den in der Luft lebenden Thieren und insbesondere beim Menschen, lässt sich daher folgendermaassen zusammenfassen. Sie dient hauptsächlich zur Wahrnehmung der durch die Kopfknochen fortgepflanzten Schallschwingungen, nicht nur der intensiven, welche unmittelbar von festen Körpern auf jene übergehen, sondern auch der verhältnissmässig wenigen, welche von Luftwellen an jene abgegeben werden. Gleichzeitig betheiligt sie sich aber auch an der Wahrnehmung der auf das Labyrinthwasser vornehmlich durch Trommelfell und die Gehörknöchelchen übertragenen Luftwellen, während sie umgedreht auch einen Theil der direct von den Knochen empfangenen Schwingungen dem Labyrinthwasser mittheilt. In dieser Beziehung müssen wir noch einen Umstand würdigen, welcher sie zu letzterer Function noch

geeigneter macht. Bestände die *lamina spiralis* lediglich aus Knochensubstanz, so würde sie bei der grossen Dichtigkeitsdifferenz zwischen Knochen und Wasser sehr wenige Wellen vom Wasser aufnehmen und wenige an dasselbe abgeben. So aber lehrt die Anatomie, dass nur der dem *modiolus* angränzende Theil knöchern, der mit der äusseren Schneckenwand verbundene dagegen h ä u t i g ist. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass dieser membranöse Theil der Spiralplatte leichter Schallschwingungen von dem Wasser aufzunehmen und umgedreht auch an dasselbe abzugeben vermag, als der knöcherne, während er ebenso leicht die Schwingungen der Knochenplatte aufnimmt, und seine Eigenschwingungen letzterer mittheilt. Dieser häutige Saum des Spiralblatts stellt daher einen Vermittler zwischen Knochen und Wasser dar, ebenso wie der häutige Saum des Steigbügels die Uebertragung der Gehörknöchelchenschwingungen auf das Labyrinthwasser erleichtert. Es spricht dafür auch der Umstand, dass die Primitivfasern des Schneckennerven fast lediglich auf den knöchernen Theil der *lamina spiralis* beschränkt sind, und nur im Gipfel der Schnecke ein Stück auf die *zonula membranacea* herüberragen. Es sprechen ferner dafür die eigenthümlichen complicirten Apparate, welche auf diesem Theile angebracht sind, deren specielle Deutung zwar noch nicht möglich ist, deren Bau und Beweglichkeit aber entschieden auf akustische Zwecke hinzeigt.

Die genauere Auseinandersetzung dieser Apparate, der doppelten Reihe beweglicher Zähne, der eigenthümlichen Anordnung und Ueberdachung derselben, gehört in die allgemeine Anatomie. Eine vortreffliche Darstellung derselben mit Berücksichtigung ihrer hypothetischen Functionen giebt Harless [1]).

Dass in der Spiralplatte der Schnecke als begränztem festen Körper auch die Bedingungen zur Resonanz vorhanden sind, ist leicht einzusehen und durch J. Müller's physikalische Experimente zur Evidenz bewiesen.

Da die Schwingungen der Stimmbänder, wie wir schon oben erwähnten, sich zum Theil unmittelbar durch feste Körper bis zu dem

---

1) Harless, a. a. O. p. 441 – 448. Vergl. Koelliker, Handb. der Gewebel. p. 628. Corti, Ztschr. f. wissensch. Zool. III. p. 109.

Labyrinth fortpflanzen, werden wir gewiss unsere eigne Stimme auch vermittelst der Schnecke hören. E. H. Weber schliesst aus dem Umstand, dass er die eigene Stimme bei verstopften Ohren besser hörte, als bei offenen (was Andere bestreiten), dass die Stimme durch die Kopfknochen besser, als durch die Luft gehört werde. Dass die Schnecke zum Hören der eigenen Stimme bestimmt sei, kann natürlich daraus nicht geschlossen werden.

§. 110.

Nachdem wir nunmehr alle Vorbaue, welche dem Hörnerven zur Zuleitung und Wahrnehmbarmachung der von ihm zu percipirenden äusseren Eindrücke, d. i. der Schallwellen, gegeben sind, kennen gelernt, und so weit es thunlich war, physikalisch zergliedert haben, wenden wir uns zu ihm selbst, zu seinem Verhalten gegen die Schallwellen. Dass das achte Hirnnervenpaar der specifische Sinnesnerv für das Gehör sei, bedarf keiner besonderen Beweisführung. Sein anatomisches Verhalten, seine Ausbreitung auf den zur Aufnahme von Schallwellen geeigneten Theilen des Labyrinths, das physiologische Experiment (Flourens[1]) und pathologische Beobachtungen lehren dies auf das Entschiedenste; Verletzung des achten Hirnnerven verursacht unbedingt Taubheit[2]). Flourens folgerte aus verschiedenen Verletzungen des Labyrinths und seiner Nerven, dass der für das Hören wesentlichste Theil die Nervenausbreitung des Vorhofes sei, dass alle übrigen zerstört werden können, ohne dass das Gehör verloren gehe. Es geht aber aus unseren Erörterungen deutlich hervor, dass dieser Satz nicht unbedingte Geltung hat, dass er sich wahrscheinlich nur auf das Hören der durch die Luft fortgepflanzten Schallwellen beziehen lässt, für welche wir ebenfalls den Vorhofnerven als den wichtigsten erkannt haben. Das Hören durch feste Theile den Schädelknochen übertragener Wellen wird entschieden durch Zerstörung der Schnecke und ihrer Nerven weit mehr beeinträchtigt werden, als durch Vernichtung der Nervenapparate der Vorhofsäckchen und der Ampullen. Uebrigens ist es begreiflicher-

1) Flourens, vergl. Longet, Anat. u. Phys. des Nervensyst. II. p. 73. — 2) Vergl. Linke, a. a. O. I. p. 650.

weise ebenso schwierig, blosse Abstumpfungen der Gehörsschärfe nach Experimenten zu erkennen, als graduelle Verschiedenheiten des Geschmackssinnes.

Die erste Frage, welche sich uns hier aufdrängt, ist: von welcher Art ist die Erregung, in welche der Gehörnerv durch die Schallwellen versetzt wird, welche er den Centralorganen zur Hervorbringung einer bewussten Gehörempfindung zuleitet? Wir haben gesehen, dass sich der Schall in Form von Wellen und Schwingungen durch die Apparate des Ohres bis zu dem Lager der Nerven fortpflanzt, dass er dieses Lager selbst und nothwendig also auch die auf ihm ausstrahlenden Nervenenden ebenfalls in Schwingungen versetzt. Dürfen wir uns vorstellen, dass diese Schwingungen im Nerven selbst als solche zum Gehirn fortgepflanzt werden, dass diese Schwingungen selbst es sind, welche in den Centralorganen einen bewussten Eindruck hervorrufen? Die Antwort darauf muss unseres Erachtens eine verneinende sein. Wir können aus Gründen, deren Auseinandersetzung in die Nervenphysiologie gehört, uns eben so wenig vorstellen, dass in den Fasern des Opticus der etwa vorhandene Lichtäther durch die auf die Retina treffenden Lichtwellen in entsprechende Undulationen gerathe und diese Undulationen unmittelbar als Licht- und Farbeneindruck empfunden werden, als wir annehmen können, dass ein auf ein Tastkörperchen ausgeübter Druck, oder eine dasselbe treffende erhöhte Temperatur als Druck oder als Wärme die Bahn des Nerven durchlaufe, wie einen festen Körper oder einen Wärmeleiter, und, auf die Centralorgane ebenso als Druck oder Wärme einwirkend, die bewusste Empfindung des äusseren Eindrucks hervorbringe. Eben so wenig können wir an eine Fortpflanzung einer Schallschwingung als solche durch den Hörnerven glauben. Wären die Nerven bestimmt, in so grob physikalischem Sinne Leiter der äusseren Eindrücke zu sein, so würde die Natur (*sit venia verbo!*) schwerlich dieselbe Substanz von derselben morphologischen und chemischen Constitution überall zwischen Peripherie und Centrum eingeschaltet haben, sie würde verschiedene und bessere leitende Medien für die verschiedenen äusseren Eindrücke: Druck, Wärme, Licht und Schallwellen gewählt haben.

Jeder äussere Eindruck, sei er welcher Art er wolle, kommt als solcher nur bis zu den peripherischen Ausstrahlungen der Sinnesnerven; alle Vorbaue, welche dieselben besitzen, sind dazu bestimmt, den Eindruck bis zu ihnen in geeigneter Form und Intensität zu leiten; die Lösung schmeckbarer Substanzen imbibirt sich in den Geschmackswärzchen bis zu den Papillarenden des *glossopharyngeus*, die Tastkörperchen theilen den vom aussen empfangenen Druck den Tastnervenenden mit, die Schallwellen werden condensirt und verstärkt durch den wunderbaren Mechanismus von Membranen, isolirten Knöchelchen und wieder Membranen u. s. w., den wir eben kennen gelernt haben, bis an die Enden des Acusticus in Vorhof und Schnecke herangeleitet. Bis dahin ist die Beförderung des Eindrucks eine rein mechanische, die lebendigen Gewebe, welche er passirt, wirken nicht anders, wie die todten Leiter unserer physikalischen Apparate, abgesehen davon, dass hier und da eine vitale Action, wie die Contractionen der Iris oder die des Hammermuskels, regulirend in den physikalischen Hergang eingreift. Hat der Eindruck aber den Nerv getroffen, so hört seine Einwirkung auf den Organismus auf, der Nerv reagirt auf den Eindruck, und die in ihm hervorgerufene Reactionsthätigkeit, mag diese nun auf eine elektrische oder eine unbekannte andere Molecularbewegung zu reduciren sein, ist es, welche die Centralorgane in Thätigkeit setzt, welche die bewusste Empfindung vermittelt. Wir empfinden daher weder das Licht, noch den Schall, noch den Druck, sondern nur die durch Lichtundulationen, Schallwellen und Druck an der Peripherie erzeugte Nerventhätigkeit. Wir haben keinen Grund, anzunehmen, dass diese in verschiedenen Nerven eine wesentlich verschiedene sei, alles weist dar auf hin, dass es in allen ein identisches Nervenagens giebt. Damit ist aber die Möglichkeit noch nicht ausgeschlossen, dass dasselbe Agens in verschiedenen Nerven verschieden, in demselben Nerven aber auf verschiedene Erregungsweisen immer auf gleiche Weise reagirt. Dass der Hörnerv nicht durch Lichtwellen, und der Sehnerv nicht durch Schallwellen erregt wird, liegt in der Einrichtung der peripherischen Vorbaue der Nerven. Warum aber die Schwingung, in die eine Schallwelle das Ende

des Hörnerven versetzt, Tonempfindung und nicht das Gefühl von Oscillationen wie durch die Tastnerven erregt, warum der Hörnerv auch auf andere Eindrücke als Schallwellen durch Gehörsempfindung, der Sehnerv z. B. auch auf Druck durch Lichtempfindung antwortet, hat weder Physiologie noch Philosophie bis jetzt ergründen können. Wir wissen, dass der Ton nicht eine den Schallwellen an sich inhärirende Eigenschaft ist, sondern nur eine Eigenschaft, die ihnen beim Zusammentreffen mit dem Hörnerven zukommt, das Produkt der Einwirkung der schwingenden Materie einerseits und der Reaction des Nerven andererseits ist. Wir kennen nur den einen Factor, der zweite ist für uns noch ein Räthsel, für dessen Lösung wir bis jetzt nur sparsame völlig unzureichende Grundlagen besitzen [1]).

§. 111.

Wir gehen über zu der Betrachtung der Verschiedenheiten, welche die beim Zusammenstoss von Schallwellen mit dem Hörnerv entstehenden Empfindungen in Bezug auf ihre Qualität und Intensität zeigen, und untersuchen zugleich die Bedingungen, von denen die Beurtheilung der Richtung eines Schalles abhängig ist.

Jeden Eindruck, welchen wir mittelst unseres Gehörorganes wahrnehmen, bezeichnen wir im Allgemeinen als Schalleindruck; es liegt in dem Begriff Schall daher durchaus noch keine nähere Bezeichnung irgend einer Eigenschaft des Eindrucks; er bedeutet nur dasjenige, was den Hörnerven überhaupt erregt, ebenso wie wir unter Hell oder Licht nur etwas bezeichnen, was die Thätigkeit des Sehnerven überhaupt hervorruft. Wir theilen die Schalleindrücke in zwei Hauptcategorien, in Geräusche und Töne. Ein einfacher Schalleindruck kann schon entstehen, wenn ein einziger Stoss, ausserhalb des Gehörorgans durch irgend einen Vorgang erzeugt, den Hörnerven trifft. Folgen sich in unregelmässigen Intervallen mehrere Stösse, so entsteht der Eindruck eines Geräusches, sobald die Intervalle nicht so

---

1) Vergl. Lotze, medicin. Psychologie oder Physiol. der Seele. Leipzig 1852. p. 182 u. f.

gross sind, dass die einzelnen Stösse gesondert, durch Pausen getrennt, empfunden werden; folgen sich in regelmässigen Intervallen mehrere Stösse, so entsteht der Eindruck eines Tones, sobald die Intervalle nicht über $\frac{1}{8}$ und nicht unter $\frac{1}{24000}$ Sekunde betragen, sobald die Zahl der auf einander folgenden Stösse nicht unter 2 beträgt. Wird in der Luft durch den Schlag einer Peitsche oder durch eine Explosion ein einfacher Stoss erregt, so empfinden wir denselben als Knall; es ist aber dabei weder erwiesen, noch wahrscheinlich, dass auch der Stoss, welcher den Nerven trifft, noch ein einfacher ist, wie der auf die Luft ursprünglich erfolgende. Wenn schon die Elasticität der Luft selbst bei einfachen Stössen gewiss die Entstehung von mehreren Wellen bedingen wird, so ist noch vielmehr vorauszusetzen, dass das gespannte elastische Trommelfell sich nicht mit einer einfachen Schwingung begnügen wird; es muss in demselben wie in jeder gespannten Membran auch durch einmaligen Impuls eine wenn auch noch so kurze Reihe von Wellenbewegungen erzeugt werden.

Da wir die Theorie der Geräusche und Töne aus der Akustik als bekannt voraussetzen müssen, können wir hier nur die wichtigsten Sätze aus dieser Lehre wiederholen. Wird das Savart'sche Zahnrad um seine Achse gedreht, so ruft jeder Zahn durch den Anstoss an der kleinen Platte ein Geräusch hervor. Wir lassen hier dahin gestellt, ob das bei jedem Anstoss erfolgende Knacken wirklich als reines Geräusch zu deuten ist, oder ob nicht durch die Schwingungen des Zahnes ein Ton von bestimmter Höhe erzeugt wird, wenn wir denselben auch nicht deutlich aufzufassen vermögen. Drehen wir das Rad mit einer gewissen gleichmässigen Geschwindigkeit, so dass die Anstösse der einzelnen Zähne in gleichmässigen Intervallen auf einander folgen, so summiren sich die einzelnen Geräusche zu einem Ton, dessen Höhe von der Dauer der Intervalle zwischen den einzelnen Stössen abhängig ist. Entfernen wir von dem Rade sämmtliche Zähne bis auf zwei neben einander stehende, so erzeugt der auf einander folgende Anstoss derselben doch immer noch einen Ton von bestimmter Höhe. Ist die Umdrehungsgeschwindigkeit so gross, dass zwischen dem Anstoss beider Zähne $\frac{1}{8}$

Sekunde verfliesst, so entsteht der tiefste für unser Ohr noch wahrnehmbare Ton, beträgt das Intervall $\frac{1}{24000}$ Sekunde, so entsteht der höchste wahrnehmbare Ton. Die Höhe des Tones ist von der Distanz der einzelnen Stösse abhängig. Jedem bestimmten Ton unserer musikalischen Scala entspricht eine bestimmte Distanz der Stösse. Da nun bloss zwei Stösse zur Hervorbringung eines Tones erforderlich sind, so sollte man erwarten, dass bei einer Reihenfolge in unregelmässigen Zwischenräumen folgender Stösse eine Reihe von Tönen gehört werden müsste, deren jeder einer Distanz zwischen je zwei Stössen entspräche. Dies würde der Fall sein, wenn die Dauer der Tonempfindung auf die Dauer des Intervalles zweier Stösse beschränkt wäre; in Wirklichkeit aber dauert die Nachempfindung eines Tones ein Weilchen fort, fällt also in die Zeit, wo schon der zweite einer andern Distanz der Stösse entsprechende Ton begonnen hat. Es decken sich daher die einzelnen Töne theilweise und auf diese Weise entsteht ein Geräusch. Aus demselben Grunde entsteht ein Geräusch, wenn an sich bestimmte Töne von bestimmter aber verschiedener Höhe mit zu grosser Schnelligkeit, d. h. mehr als neun in der Sekunde, einander folgen, und daher durch ihre Deckung unter einander nicht mehr gesondert empfunden werden können. Es können möglicherweise noch auf eine andere Weise Geräusche zum Vorschein kommen; jedem Ton entspricht, wie gesagt, eine bestimmte Distanz der Stösse, es wird aber auch dazwischen liegende Distanzen geben, welche wir nicht als Töne aufzufassen vermögen, bei solchen Distanzen wird, wie Harless glaubt, ein reines von keinem Ton begleitetes Geräusch empfunden werden. Soll ein reiner Ton gehört werden, so müssen entweder nur zwei Stösse auf einander folgen, oder bei einer längeren Reihe von Stössen dieselben durch gleichlange der Höhe des Tones entsprechende Intervalle getrennt sein; das Ausfallen eines einzigen Stosses in einer solchen Reihe bringt noch keine Unterbrechung der Tonempfindung hervor, da die Nachempfindung den Zwischenraum ausfüllt, und die Wahrnehmung eines zweiten der Dauer dieses Zwischenraumes entsprechenden Tones verhindert. Besteht eine Reihe von Stössen aus mehreren Abthei-

lungen, deren jede länger als $\frac{1}{8}$ Sekunde dauert, so wird eine Reihe von Tönen gehört, wenn in den verschiedenen Abtheilungen die Intervalle der Stösse verschieden, in jeder einzelnen aber unter einander gleichlang sind. Kehrt in einer längeren Reihe von Stössen, die sich in verschiedenen Zwischenräumen folgen, eine und dieselbe Distanz häufig wieder, so wird der dieser Distanz entsprechende Ton durch das Geräusch durchgehört werden, dem Geräusche eine bestimmte Tonhöhe geben. Bei dem Savart'schen Rade, welches wir bis jetzt bei unseren Betrachtungen im Auge hatten, sind es wirklich durch Pausen getrennte Stösse, deren regelmässige Aufeinanderfolge einen Ton erzeugt. Bei den meisten unserer Instrumente aber entsteht der Ton durch Hin- und Herschwingungen fester oder luftförmiger Körper, bei denen sich demnach die Stösse ohne Intervalle der Ruhe unmittelbar an einander reihen; die Dauer einer Schwingung entspricht der Distanz zweier Stösse am Savart'schen Rad. Die Elasticität der Körper ist die Ursache, dass die Dauer ihrer Schwingungen bei gleicher Grösse und Spannung der schwingenden Masse gleichbleibt, und somit ein Ton entsteht. Je kürzer die Dauer der Schwingung, desto höher, je länger, desto tiefer ist der Ton. Jeder tönende Körper erregt durch die Stösse eine Reihe von Verdünnungs- und Verdichtungswellen, durch welche der Ton fortgepflanzt wird. Die Dicke dieser Wellen, welche durch die Schwingungsdauer und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des schallleitenden Mediums bestimmt wird, bleibt bei dem Fortschreiten der Wellen dieselbe. Mit derselben Dicke, welche eine Welle unmittelbar am tönenden Körper besitzt, pflanzt sie sich bis zum Ohre fort; mit derselben Dicke, welche der Schwingungsdauer des tönenden Körpers und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls im Wasser entspricht, geht sie auch durch das Labyrinthwasser durch, jedes Theilchen des Labyrinthwassers durchläuft daher während des Durchganges einer Welle successive die verschiedenen Stadien der zu- und abnehmenden Verdichtung und Verdünnung. Bei der Kleinheit des Labyrinthes ist es unmöglich, dass von zwei auf einander folgenden Wellen die Maxima der Verdichtung oder Verdünnung sich gleichzeitig innerhalb des Labyrinthes

befinden. Die Dicke der Wellen im Wasser ist noch beim $\bar{c}^{iiii}$ 4 Fuss. Bei den durch schwingende Körper erzeugten Tönen schliesst sich eine Welle unmittelbar an die andere an, wie mit dem Ende einer Schwingung die neue beginnt; bei dem Savart'schen Rade dagegen sind zwischen den einzelnen Wellen, die jeder Zahn durch seinen Stoss erregt, Momente der Ruhe. Es werden daher auch im Labyrinth im erstern Fall die Wellen sich unmittelbar an einander schliessen, in letzterem durch Pausen getrennt sein. Die Dauer des Durchganges einer Welle durch das Labyrinthwasser hängt von der Schwingungsdauer des tönenden Körpers ab; bei dem Savart'schen Rad wird die Dauer dieses Durchgangs, wenn die Wellen durch Pausen getrennt sind, kleiner sein, als der Zwischenraum von einem Maximum der Verdichtung oder Verdünnung zu dem der nächsten Welle. Dass die Höhe des Tones nicht von der Dicke der Wellen abhängt, lehrt eben das Savart'sche Rad, da bei diesem unter allen Umständen von den Zähnen Wellen von gleicher Dicke erzeugt werden, und die Höhe des Tones nur mit der Distanz der Stösse also der Wellenanfänge wechselt.

So genau wir die gesetzmässigen Ursachen der Höhe eines Tones aus der Physik erfahren, so wenig wissen wir noch über die Ursachen der verschiedenen Klänge desselben. Wir wissen wohl, dass die Natur des tönenden Körpers und theilweise die Art, wie wir ihn in Schwingung versetzen, die Art des Klanges bedingt, dass Schwingungen der Luft einen andern Klang bewirken, als Schwingungen von Saiten oder Metallplatten, wir wissen, dass eine Saite anders klingt, wenn sie durch den Bogen gleichmässig gestrichen, als wenn sie durch einmaligen Anstoss in Schwingung gesetzt wird, wir wissen endlich, dass der Klang häufig durch die Concurrenz mehrerer schwingenden Medien, durch die Art der Resonanz u. s. w. bestimmt wird, damit ist aber das Wesen der Klangdifferenzen durchaus noch nicht völlig erklärt. Und doch müssen wir der Art des Klanges eine höhere physiologische Wichtigkeit beimessen, als den Höhedifferenzen der Töne; indem unser Gehörorgan uns weit öfter und besser durch den Klang eines Tones als durch dessen Stellung in der Tonleiter über Qualitäten des tönenden Körpers unterrichtet.

Die **Intensität** einer Schallempfindung hängt von der Grösse des Impulses, d. h. von der Excursionsweite der schwingenden Theilchen in unserem Gehörorgan ab, steht in geradem Verhältniss zu derselben. Die Grösse dieser Excursion wird durch zweierlei Umstände bedingt: erstens durch die Stärke des ursprünglichen Stosses, welcher unmittelbar vom tönenden Körper ausgeht, und zweitens durch die Entfernung von letzterem; wie wir bereits oben erwähnten, nimmt die Bahngrösse der schwingenden Theilchen mit dem Quadrat der Entfernung vom tonerzeugenden Körper ab. Wir hören daher einen Ton um so intensiver, mit je beträchtlicherer Elongation die Schallwellen unser Ohr erreichen, je grösser also dieselbe unmittelbar am tönenden Körper, je näher derselbe unserem Ohr ist, vorausgesetzt, dass der Schall ungehindert durch ein und dasselbe Medium bis zu unserem Ohr sich fortpflanzen kann, vorausgesetzt, dass nicht durch die schon erörterten Veränderungen in unserem eigenen Ohr (ungünstige Richtung des äusseren Ohres, Verstopfung des Gehörganges, zu starke Spannung des Trommelfells u. s. w.) die Intensität der Schallleitung zu dem Labyrinth gemindert wird. Wir schätzen daher aus der Intensität der Schallempfindung die **Entfernung** der Schallquelle von unserem Ohr, wenn wir durch Erfahrung die Intensität des fraglichen Schalls in einer bestimmten Entfernung kennen gelernt haben. Dass wir bei diesen Schätzungen häufig Täuschungen unterworfen sind, wenn andere Umstände ausser der Entfernung der Schallquellen modificirend auf die Intensität des Schalleindruckes einwirken, ist bekannt. In vielen Fällen aber können wir diese Täuschungen corrigiren, sobald wir mit Hülfe der übrigen Sinne die Gegenwart jener modificirenden Umstände erkennen, und die Grösse ihres Einflusses, über die wir durch Erfahrung ein Urtheil gewonnen haben, im Geiste in Rechnung bringen. Ist die Schallquelle für den Gesichtssinn wahrnehmbar, so werden wir durch diesen Sinn ihre Entfernung von uns natürlich weit richtiger und sicherer erkennen, als mit Hülfe des Gehörssinnes.

Aus der Intensität der Schallempfindung erlangen wir auch unter gewissen Bedingungen ein Urtheil über die **Richtung**, aus welcher der Schall kommt. Wir wissen, dass wir einen

durch die Luft fortgepflanzten Schall dann am intensivsten hören, wenn die Schallwellen möglichst direct in den äusseren Gehörgang fallen, wenn also die Schallrichtung in die Verlängerung der Achse desselben fällt. Hören wir daher einen Schall deutlicher auf dem einen Ohre als auf dem andern, so schliessen wir schon, dass er von der entsprechenden Seite kommt, hören wir ihn gleich deutlich auf beiden Ohren, so kann er entweder gerade von vorn oder gerade von hinten kommen; die Unterscheidung zwischen diesen beiden Richtungen ist ohne weitere Hülfsmittel nicht möglich. Drehen wir unsern Kopf so weit, bis eines der beiden Ohren den Schall am intensivsten empfängt, so schliessen wir, dass dann die Schallquelle dem Ohre gerade gegenüber liegt, verlegen die Richtung des Schalls in die Verlängerung des äusseren Gehörganges bei dieser Lage des Kopfes. Unmittelbar ist die Richtung des Schalles niemals Object der sinnlichen Wahrnehmung, wir besitzen keine Vorrichtung im Ohre, welche etwa durch verschiedene Erregungsweise bei verschiedenen Richtungen der ankommenden Schallwellen uns dieselben anzeigte. Wir haben bei der Erörterung der Schallleitung im Labyrinth bereits nachgewiesen, dass alle vom Trommelfell kommenden Wellen, so lange der Fusstritt des Steigbügels unverrückt bleibt, in derselben Richtung das Labyrinth durchlaufen, mag die ursprüngliche Schallrichtung ausserhalb des Gehörorgans sein, welche sie wolle; wir haben auch bereits erörtert, dass die wenigen durch die Schädelknochen fortgepflanzten Luftwellen, wenn sie gleich in der Richtung des ursprünglichen Stosses am intensivsten sind, doch sobald sie an das Labyrinth abgegeben sind, zu allen Theilen des Nerven ausgebreitet werden, nicht den oder jenen bei verschiedenen Richtungen vorzugsweise oder auch nur um eine merkliche Zeit früher als die andern treffen, dass insbesondere die halbzirkelförmigen Kanäle nicht, wie man früher annahm, im Stande sind, die Schallrichtung zur Erkenntniss zu bringen.

§. 112.

Wir haben noch Einiges über die Auffassung der musikalischen Tonverhältnisse zu bemerken. Wie wir

bereits gesehen, ist der tiefste für unser Ohr wahrnehmbare Ton derjenige, welcher durch 8 in einer Sekunde sich folgende Stösse (oder 16 Schwingungen) erzeugt wird, der höchste der durch 12,000 Stösse (oder 24,000 Schwingungen) erzeugte. Wir sind nicht im Stande, mit unserem Ohr alle zwischen diesen äussersten Gränzen liegende Tonunterschiede aufzufasssn, durch Uebung kann jedoch die Feinheit des Unterscheidungsvermögens bis zu einem ziemlich hohen Grade ausgebildet werden; nach Seebeck kann ein sehr geübtes Ohr noch Töne als verschieden von einander erkennen, deren Schwingungszahlen sich wie 1 : 1,00085 verhalten. In der Musik sind so geringe Differenzen der Schwingungszahlen nicht benutzt, die Schwingungsmengen der in der Musik üblichen Töne stehen zu einander in ziemlich einfachen Verhältnissen. Je einfacher dieses Verhältniss, desto leichter ist es aufzufassen, desto angenehmer ist die dadurch erzeugte Empfindung. Das einfachste Verhältniss ist natürlich das von 1 : 2 : 4 u. s. w., das ist das Verhältniss der Octaven; ein Ton, der in gegebener Zeit noch einmal so viel Schwingungen macht, als ein bestimmter, heisst die Octave desselben. In dem nächst einfachen Verhältnisse stehen die Töne, welche in der Musik den Durdreiklang bilden, deren Schwingungszahlen sich verhalten wie 4 : 5 : 6 : 8 oder, wenn wir die des Grundtones = 1 setzen, wie $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : 2$ (c e g c̄). Zwischen diesen Tönen stehen in der musikalischen Durtonleiter noch vier andere, welche ebenfalls zum Grundton in einfachen Verhältnissen stehen; die Verhältnisse sämmtlicher Töne der Tonleiter zum Grundton gestalten sich, wenn wir letzteren gleich 1 setzen, folgendermaassen:

c	d	e	f	g	a	h	c̄
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2,

die Verhältnisse der einzelnen Töne dieser Reihe zu einander:

c : d = 8 : 9
d : e = 9 : 10
e : f = 15 : 16
f : g = 8 : 9
g : a = 9 : 10
a : h = 8 : 9
h : c̄ = 15 : 16.

In dieser Reihe kehren drei Verhältnisse öfters wieder, nämlich 8 : 9, 9 : 10, und 15 : 16. Ersteres Intervall nennt man in der Musik einen grossen ganzen, das zweite einen kleinen ganzen, und das dritte einen grossen halben Ton. Zwischen die als ganze Töne bezeichneten Intervalle sind noch halbe Töne eingeschaltet. Der Grund davon, das Verhältniss der Tonleitern verschiedener Grundtöne, sowie die nothwendige Unreinheit unserer musikalischen Intervalle, ist aus der Akustik bekannt.

Man nennt die Verbindung mehrerer Töne zu einem Accord eine consonirende, wenn dieselben unter sich und zu dem Grundton in einfachen Zahlenverhältnissen der ununterbrochenen Reihe 1, 2, 3, 4, 5, 6 stehen, eine dissonirende dagegen, wenn die Verhältnisszahlen eine oder mehrere Glieder dieser Reihe überspringen. Der Accord c e g ist ein consonirender, weil die Töne sich verhalten wie 4 : 5 . 6 . c a dagegen eine dissonirende Verbindung, weil beide Töne sich verhalten wie 3 : 5. Nur die Verbindung consonirender Töne ruft eine angenehme Empfindung hervor, die der Dissonanzen eine unangenehme; warum, ist noch nicht entschieden. Hier beschäftigt uns zunächst nur die wichtige Frage: in welcher Weise geschieht überhaupt die Auffassung zweier gleichzeitiger Töne mittelst des Gehörorganes? Werden dieselben als getrennt neben einander empfunden, oder nehmen wir nur einen durch die Verschmelzung beider entstandenen Eindruck wahr? Man hat sich vielfach bemüht, das gleichzeitige Hören zweier Töne von verschiedener Höhe aus dem Vorhandensein irgend eines Apparates im Ohre, durch welchen jedem bestimmten Ton ein bestimmtes Perceptionsorgan zugewiesen würde, zu erklären; es müsste dann im Ohr eine Art musikalischen Instrumentes existiren, welches eben so viele Abtheilungen besässe, als es unterscheidbare Töne von verschiedener Höhe giebt, von denen jede, lediglich oder vorzugsweise für den ihr zugehörigen Ton empfänglich, denselben den Nerven mittheilte. Durchliefen also die Wellen eines bestimmten Tones das Labyrinthwasser, so würde die ihm entsprechende Abtheilung des Hörinstrumentes dadurch etwa ebenso erregt werden, wie von einer Reihe von Saiten in verschiedener

Spannung diejenige mit einem äusserlich erzeugten Ton mitklingt, welche in Schwingung gesetzt denselben Ton geben würde. Man hat den auf der Spiralplatte der Schnecke parallel neben einander ausgebreiteten Nervenfäden selbst eine solche Rolle zertheilt, indem man sie mit Saiten von verschiedener Länge und Spannung verglich, und von letzteren Grössen die Höhe der Töne, durch welche jede einzelne Faser in Schwingung gerathen sollte, abhängig glaubte. Die Unstatthaftigkeit einer solchen Annahme geht schon aus einer genaueren anatomischen Betrachtung der Schneckennervenfasern hervor, sie ist ferner unvereinbar mit der Art und Weise, in welcher wir uns überhaupt das Zustandekommen einer Tonempfindung mit Hülfe der Nerven zu denken haben. Mit weit grösserer Wahrscheinlichkeit lässt sich in den schon oben berührten complicirten Apparaten, mit denen die häutige Zone der Spiralplatte bedeckt ist, eine Vorrichtung zu dem fraglichen Zwecke vermuthen, wenn auch noch nicht nachweisen. Wir haben dieser häutigen Zone überhaupt die Rolle eines Vermittlers für die Schallwellen zwischen Labyrinthwasser und knöchernem Spiralblatt zugeschrieben; dass ihre mikroskopischen zahnartigen Gebilde irgend einer akustischen Verrichtung vorstehen, kann bei ihrer näheren Betrachtung kaum zweifelhaft sein, ob sie aber wirklich zu der Auffassung der musikalischen Tonverhältnisse in der angedeuteten Beziehung stehen, muss vor der Hand dahingestellt bleiben. Jedenfalls ist es eine Thatsache, dass wir im Stande sind, aus einer Reihe gleichzeitig das Ohr treffender Töne einen oder den andern „herauszuhören", wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf denselben richten. Wir können durch diese psychische Action gleichsam die zu einem Ganzen verbundenen Eindrücke mehrerer gleichzeitiger Töne analysiren, und einen Factor der Gesammtempfindung gesondert wahrnehmen. Erleichtert wird die Auffassung eines Tones durch mehrere gleichzeitige, wenn er sich nicht allein durch verschiedene Höhe, sondern auch durch verschiedenen Klang vor denselben auszeichnet. Die Betrachtung der Wellen, welche beim Hören mehrerer Töne gleichzeitig das Labyrinth passiren, führt noch zur Erklärung einiger eigenthümlichen akustischen Erscheinungen. Werden gleichzeitig vor dem

Ohr zwei nicht ganz im Einklang stehende Töne, deren Schwingungszahlen aber nur wenig differiren, erzeugt, so vernimmt man einen nicht ganz gleichförmigen, sondern wechselsweise anschwellenden und abschwellenden Klang; man nennt dies eine Schwebung. Gesetzt, einer der beiden Töne wird durch einen Stoss mehr in der Sekunde als der andere hervorgebracht, so

werden sich die Wellen der beiden Töne, wie in der Figur verhalten, d. h. bei gleichzeitigem Anfang werden im Beginn der Sekunde a Berge und Thäler beider Wellenzüge auf einander fallen, sodann aber die Wellen des einen Tones, welcher einen Stoss mehr in der Sekunde macht, denen des anderen vorauseilen, so dass in der Mitte der Sekunde b ein Berg des einen Zuges mit einem Thal des andern zusammenfällt, und erst am Ende c wieder Berg auf Berg fällt. Der hervorgebrachte Klang ist daher am stärksten am Anfang und Ende der Sekunde, wo die Maxima beider Wellen sich decken, nimmt vom Anfang nach der Mitte der Sekunde ab, ist daselbst, wo die Verdichtung des einen Tons auf die Verdünnung des andern fällt, am schwächsten und nimmt von da wieder gegen das Ende hin zu, indem sich die gleichnamigen Zustände beider wieder mehr und mehr einander nähern.

Stehen die Schwingungszahlen zweier gleichzeitig beginnender Töne in einfachem Verhältniss zu einander, so müssen die entsprechenden Maxima der Stösse beider häufig auf einander fallen, und in den Momenten des Zusammenfallens stärkere Stösse erzeugen. Liegen diese verstärkten Stösse nahe zusammen, so wird ein ihrer Distanz entsprechender dritter Ton gehört werden, und dies ist der sogenannte Tartini'sche Ton. Macht der Ton a zwei Stösse, deren Maxima durch die Punkte angedeutet ist, während b drei macht, so werden die Maxima allemal nach je 2 Stössen von a und je 3 Stössen von b zusammenfallen, und den Ton erzeugen, welcher der Distanz der Stösse in der Reihe c entspricht. Macht

a . . . .
b . . . .
c • • • •

demnach a in der Sekunde 660 (ā), b 880 Stösse (ē), so wird der Tartini'sche Ton derjenige sein, welcher 220 Stössen entspricht (A), da allemal nach 3 Stössen von a und 4 von b die Stösse beider Töne zusammenfallen. Es ist übrigens, wie J. Müller gezeigt hat, nicht unbedingt nöthig, dass beide Töne ganz gleichzeitig beginnen, und daher ihre entsprechenden Maxima absolut genau zusammenfallen, es reicht schon eine gewisse Approximation der letzteren hin, einen, wenn auch weniger intensiven Tartini'schen Ton zu erzeugen.

Solche Töne müssen daher bei musikalischen Tonverbindungen häufig entstehen, werden aber in den meisten Fällen zu schwach sein, um gehört zu werden; oft werden sie, wenn wir sie auch nicht deutlich unterscheiden, doch den Toncombinationen, durch die sie entstehen, wenigstens eine eigenthümliche Klangfärbung geben.

§. 113.

Unter dem Titel: subjective Gehörsempfindungen werden in der Regel eine Anzahl Erscheinungen zusammengefasst, deren grosse Mehrzahl durchaus nicht subjectiv, sondern ebenso objectiv ist, wie jeder von aussen zu dem Gehörorgan fortgepflanzte Schalleindruck. Subjectiv im eigentlichen Sinne des Wortes, können nur die Gehörempfindungen genannt werden, bei denen eine Schallwelle gar nicht concurrirt, sondern der Hörnerv durch anderweitige innere oder äussere Eindrücke in denselben Erregungszustand, wie durch Schallwellen versetzt wird; es gehört also hierher z. B. der Klang, der beim Durchgang eines elektrischen Stromes durch den Akusticus erzeugt wird. Bei den meisten hierher gerechneten Empfindungen ist die Bezeichnung: subjectiv auf die wirklich vorhandene objective Schallquelle insofern angewendet worden, als dieselbe nicht von aussen kommt, sondern im Subject des Hörenden selbst sich befindet. In diesem Sinne ist eben sowohl das schon besprochene willkührliche Knacken im Ohre (pag. 410), als das Hören der eigenen Stimme eine subjective Gehörsempfindung.

Betrachten wir zunächst die eigentlich subjectiven Gehörsempfindungen. Die Zahl derselben, denen mit Sicherheit alle

Objectivität abgesprochen werden kann, ist gering; es muss bei vielen zweifelhaft bleiben, ob nicht doch Schallwellen in irgend einem Theil des Hörapparates durch Ursachen, welche ausserhalb des Ohres keine hervorbringen, erzeugt werden. Mit Bestimmtheit gehören hierher: der schon erwähnte Klang, den elektrische Reize des Akusticus erregen, das Ohrenklingen, sobald es durch Druck von Exsudaten, Blutextravasaten auf den Nerv, oder heftige Gehirncongestionen, wie z. B. im Typhus, hervorgebracht wird; ferner die Gehörempfindung, welche, wie Henle zuerst an sich beobachtete, bei einigen Personen bei gewissen Tasteindrücken, z. B. bei leiser Berührung der Backenhaut mit dem Finger entsteht. Es gehört ferner wenigstens theilweise hierher das Nachklingen, während dasselbe in vielen Fällen ebenfalls objectiv ist. Wir haben schon öfter im Verlaufe unserer Betrachtungen der Nachempfindung, welche bei jedem Schalleindruck entsteht, erwähnt; jeder momentane Eindruck auf den Gehörnerven erregt eine Empfindung, welche den Eindruck um eine gewisse kurze Zeit überdauert. Eben diese Nachempfindung ist es, welche überhaupt die Auffassung eines Tones möglich macht; wäre sie nicht, so würden wir auch bei den schnellsten Umdrehungen des Savart'schen Rades nur eine Reihe einzelner Stösse, aber nicht einen continuirlichen gleichförmigen Ton wahrnehmen, es würde bei dem Fehlen eines Zahnes in der Reihe eine Unterbrechung der Tonempfindung eintreten, was, wie wir sahen, nicht der Fall ist, wir würden endlich bei schneller Aufeinanderfolge von Tönen nicht ein Geräusch, sondern eben eine Reihe von Tönen hören. Diese Nachempfindung ist als Folge der subjectiv fortdauernden Erregung des Hörnerven zu betrachten. Von dieser Erscheinung ist jedoch das nur zuweilen unter gewissen Umständen auftretende anhaltende Nachklingen verschieden. Jedermann weiss, dass nach sehr heftigen momentanen Schalleindrücken, z. B. nach Kanonenschüssen, häufig ein stundenlanges Klingen im Ohre eintritt, welches in Bezug auf Höhe und Klang des Tones von der primären Empfindung wesentlich verschieden ist, und somit schon durch die letzteren Umstände wie durch die Dauer beweist, dass an ein Fortdauern der durch den primären Schall

erregten Wellenbewegung als Ursache desselben nicht zu denken ist. Damit ist aber freilich noch nicht bewiesen, dass es durch eine ganz selbstständige Erregung des Hörnerven entsteht, und nicht doch eine objective Begründung hat; mir ist sogar letzteres aus gewissen Gründen wahrscheinlicher. Ich kann nämlich bei mir das auf solche Weise entstandene Klingen plötzlich abbrechen, sobald ich durch gewaltsames Eintreiben der Luft in die *tuba Eustachii* das bekannte Knacken erzeuge. Mag nun dieses Knacken in einer Contraction des Hammermuskels oder, wie ich glaube, in einer plötzlichen Auswärtsspannung des Trommelfells begründet sein, so ist doch viel wahrscheinlicher, dass die jedenfalls damit verbundene Bewegung im Trommelfell oder Gehörknöchelchen stattfindende Schwingungen aufhebt, als dass sie der selbstständigen Erregung des Hörnerven ein plötzliches Ende macht. Es scheint mir daher die Hypothese von Harless[1]), dass vielleicht durch heftige Schalleindrücke klonische Krämpfe der kleinen Muskeln der Gehörknöchelchen und dadurch schallwellenerzeugende Erzitterungen der von ihnen beherrschten Theile hervorgebracht würden, wohl Beachtung zu verdienen. Dass diese Muskelchen bei zu starken Eindrücken auf dem Wege des Reflexes in Thätigkeit gesetzt werden, haben wir oben wahrscheinlich gemacht, die Möglichkeit des Auftretens von tetanischen Contractionen auf demselben Wege liegt daher gar nicht fern. Ein durch den primären Schalleindruck erzeugtes Mitklingen des Trommelfells im eigenen Grundton würde nur ein sehr kurzdauerndes Nachklingen erklären können.

Was die abusive subjectiv genannten Gehörsempfindungen betrifft, so können wir uns kurz fassen, da wir die wichtigsten derselben bereits ausführlich besprochen haben, andere aber noch nicht genügend erklären können. Verstopft man den äusseren Gehörgang mit dem Finger oder besser mit gekautem Papier, so vernimmt man ein dumpfes Sausen, welches eine mehrfache objective Ursache haben kann. Ist die Verstopfung nämlich nur unvollständig, so können die Luftströmungen, welche

---

1) Harless, a. a. O. p. 419.

durch den verengten Ausgang gehen, ebenso ein Sausen erzeugen, wie bekanntlich in einer vor das Ohr gehaltenen Muschel. Ist aber die Verstopfung vollständig, so kann diese Ursache nicht mehr das Geräusch erzeugen. In diesem Fall sind es die durch die Athembewegungen einerseits und durch die Blutbewegung andererseits erzeugten Schwingungen, welche durch die festen Theile bis zum Gehörnerven fortgepflanzt, Gehörempfindung erzeugen. Harless [1]) beobachtete mit den Pausen in den Respirationsbewegungen correspondirende Remissionen des Geräusches, und bei angehaltenem Athem ein schwächeres Geräusch, welches mit den Herzschlägen synchronische Verstärkungen zeigte. Die Thatsache, dass wir diese Geräusche nur bei verstopftem äusseren Gehörgang hören und nicht auch bei offenem, beruht auf derselben noch unbekannten Ursache, welche überhaupt bewirkt, dass durch feste Körper dem Hörnerven zugeleitete Schallwellen intensiver bei verstopftem als bei offenem Gehörgang wahrgenommen werden. Bei raschem Einführen oder Herausziehen des Fingers aus dem Gehörgang entsteht noch ein anderes klingendes Geräusch, welches continuirlich, wie ein sehr rasches Picken einer Taschenuhr wird, wenn man den Finger im Ohre festhält. Harless glaubt, dass dieser Klang der Grundton des Trommelfells sei, welcher in ersterem Fall durch die plötzliche Spannung des Trommelfells, in letzterem durch die Vibrationen des Fingers im Ohr hervorgebracht werde. Ich selbst kann an mir diese Erscheinung nicht wahrnehmen.

Schliesslich noch wenige Worte über die Sympathien des Hörnerven mit andern Nerven. Es lässt sich unter diesem Gesichtspunkt vielleicht die schon erwähnte subjective Gehörsempfindung betrachten, welche auf Streicheln der Backenhaut entsteht, umgekehrt gehört hierher das Auftreten von Schaudern, Kitzel u. s. w., bei gewissen grellen Tönen, wie sie z. B. durch Schaben, oder Kratzen mit einer Gabel auf einem Teller u. s. w. erzeugt werden. Auch zwischen motorischen Nerven und Acusticus sind Sympathien beobachtet; eine Menge hierher ge-

---

1) Harless, a. a. O. p. 414.

höriger Erscheinungen sind als Reflexbewegungen zu betrachten, auf andere, wie auf die unwillkührlichen Tanzbewegungen beim Hören gewisser rhytmischer Musik, lässt sich der Begriff Sympathie schwerlich ausdehnen. Dass mit dem Wort Sympathie überhaupt so gut wie nichts erklärt, sondern nur ein Name für einen unbekannten Causalnexus zwischen gewissen Aeusserungen der Nerventhätigkeit gegeben ist, bedarf kaum der Erwähnung. Ein noch räthselhafter Zusammenhang zwischen Acusticus und gewissen motorischen Nerven geht aus einer merkwürdigen Beobachtung von Flourens hervor. Derselbe fand nämlich, dass der Erfolg der Durchschneidung oder Zerstörung der Ampullennerven derselbe war, wie er auf Durchschneidung gewisser Theile des Kleinhirns eintritt. Bei Durchschneidung des horizontalen Bogenganges oder des mittleren Kleinhirnstieles tritt gleichmässig ein Rollen des Thieres um sich selbst ein; Durchschneidung des obern Bogenganges erzeugt ebenso wie Durchschneidung des *pedunculus cerebri* ein Streben des Thieres zur Vorwärtsbewegung, Durchschneidung des hintern Bogenganges endlich ebenso wie Durchschneidung des hintern Kleinhirnstieles Rückwärtsbewegung. Der durch neuere Untersuchungen wahrscheinlich gemachte Zusammenhang eines Theiles des Acusticusfasern mit Theilen des kleinen Gehirns, wirft einiges Licht auf diese interessanten Thatsachen [1]).

Vom Gesichtssinn.

§. 114.

Unter Sehen verstehen wir die durch den *Nervus opticus* vermittelte Empfindung der Undulationen des Lichtäthers, mithin die Wahrnehmung von Licht und Farben, und des Mangels derselben als Finsterniss. Die dem Sehnerven beigegebenen Vorbaue des Auges dienen theils als Schutzapparate für denselben, theils haben sie die Aufgabe, die für die Gesichtswahrnehmung bestimmten äusseren Eindrücke in geeigneter Form und Intensität den Enden des Sehnerven zuzuleiten.

---

1) Vergl. Harless, a. a. O. p. 422.

§. 115.
Entwicklung des Auges in der Thierreihe.

Dasselbe Interesse, welches die Verfolgung der stufenweisen Vervollkommnung des Hörapparates gewährte, nimmt auch die allmälige Ausbildung des Sehapparates bei den Thieren von den einfachsten Formen bis zu dem vollendeten optischen Instrument des Menschenauges in Anspruch. Während wir bei den untersten Thierstufen, bei denen das Sehvermögen auftritt, nur die Grundbedingung des Sehens: einen empfindenden Nerv mit pigmentirter Umgebung und eine davor gelegene durchsichtige mehr oder weniger lichtbrechende Membran auf die einfachste Weise erfüllt finden, so dass eben nur das Unterscheidungsvermögen für Licht und Dunkel ohne Auffassung der räumlichen Verhältnisse der leuchtenden Körper gegeben ist, sehen wir, wenn wir in der Thierreihe aufwärtssteigen, allmälig die elementären Apparate sich vervollkommnen, neue optische Hülfsmittel, ebenfalls in einfachen Formen beginnend, hinzutreten, bis wir das Auge der höheren Säugethiere erreichen, in welchem ein vollendetes Bild des leuchtenden Gegenstandes, mag er nah oder fern sein, auf der Netzhaut durch die davorgelegenen Sammelapparate entworfen und durch sie empfunden wird. Noch undeutlich und fraglich ist das Dasein von Augen bei den Echinodermen, Quallen, Polypen, Rotatorien und Infusorien. Man hat die Pigmentflecke, welche sich bei einigen Echinodermen, bei den Asteroiden an den Enden der Strahlen, bei den Seeigeln am Afterrande finden, zu denen ein Nervenzweigelchen geht, als Augen gedeutet; sind diese wirklich als solche zu betrachten, so hätten wir ein noch einfacheres Auge, als wir oben beschrieben, nämlich nur eine empfindende Nervenausbreitung. In der Klasse der Acephalen treffen wir neben ähnlichen einfachen Pigmentflecken, deren Bedeutung als Augen noch sehr fraglich ist, bereits bei einigen etwas vollkommnere, schon durch eine Sclerotica von der Umgebung gesonderte Augen in verschiedener Zahl und Anordnung, oft bis zu Hundert längs des Mantelrandes, oder blos in der Gegend der Kiemenöffnung desselben angehäuft, bei einigen mit einer Art Tapetum, d. h.

einer glänzenden Haut ausgekleidet; der längs des Mantelrandes hinlaufende Nerv giebt die einzelnen Sehnerven an sie ab. Eine sehr grosse Anzahl von Acephalen, insbesondere diejenigen, bei welchen wir eine freie Ortsbewegung vermissen, besitzen noch gar keine Augen. Einen Schritt weiter gehen die Augen der Gasteropoden. Hier finden wir die erste Andeutung einer Cornea als ein durchsichtiges Segment der Sclerotica hinter derselben eine sphärische Linse, bei einigen sogar die Andeutung einer Iris mit Pupillaröffnung; die Chorioidea besteht in einer dunkeln Pigmentauskleidung. Die Zahl der Gasteropodenaugen ist constant: zwei; sie liegen zu beiden Seiten des Kopfes, bei einigen an der Basis der Fühler, bei andern von stielartigen Erhabenheiten, welche meist an den Tentakeln selbst sitzen, bei *helix* aber hinter diesen gesondert stehen, getragen. Aehnlich ist der Bau der Augen bei den Würmern und den einfachen Augen der Arthropoden. Auf einer ungleich höheren Stufe, den Augen der Wirbelthiere am nächsten, stehen die der Cephalopoden, welche bereits in einer besondern theils von dem Kopfknorpel, theils von einer sehnigen Haut gebildeten Kapsel, einer Vorbereitung der Augenhöhle, liegen, welche nach vorn von einer durchsichtigen Haut geschlossen wird und in einer wässerigen Feuchtigkeit den Augapfel festhält. Obwohl jene vordere Haut Fortsetzung der äusseren Bedeckungen ist, und mit dem Augapfel selbst nicht zusammenhängt, kann sie doch der analogen Bedeutung wegen als Cornea bezeichnet werden; die zwischen ihr und dem Bulbus befindliche Feuchtigkeit communicirt durch kleine Oeffnungen mit der das Auge von aussen umspülenden Flüssigkeit, ist also Meerwasser. Den Augapfel selbst finden wir hier zum ersten Male durch einen Muskelapparat beweglich. Die Sclerotica umfasst mit ihrem vorderen Rand die kuglige aus zwei hinter einander liegenden Kugelsegmenten gebildete Linse, während ein Theil derselben sich als Iris ein Stück über die Linse fortsetzt. Letztere liegt mit ihrer hinteren Fläche in dem becherförmigen Glaskörper, welcher den Bulbus ausfüllt, eingebettet. Die Chorioidea überzieht als schwarz pigmentirte Uvea die hintere Irisfläche, und umfasst bereits mit einer Andeutung eines Ciliarkörpers

den Linsenrand. Die Elemente der Netzhaut selbst sind mit der Chorioidea innig gemengt. Wir finden nämlich nach aussen (an der Sclerotica) eine aus den Fäden des Sehnerven gebildete Schicht, an diese gränzt eine Pigmentschicht, durch welche die Nervenfasern nach einwärts dringen, um an der Innenfläche mit einer Zellenschicht belegt zu werden. Der Glaskörper ist hier schon von einer deutlich gesonderten *membrana hyaloidea* eingeschlossen.

In der höchsten Klasse der Avertebraten, bei den Arthropoden sind zwei Arten von Sehwerkzeugen zu unterscheiden, erstens die einfachen Augen, welche von denen der Gasteropoden nicht wesentlich abweichen, und zweitens die eigenthümlichen zusammengesetzten Augen, welche im Grunde als ein Complex einfacher Augen zu betrachten sind. Viele der hierher gehörigen Thiere besitzen gleichzeitig beide Arten, andere nur einfache Augen. Die Structur dieser Gebilde macht es wahrscheinlich, dass die zusammengesetzten Augen mehr für das Sehen ferner Gegenstände, die einfachen dagegen blos für die unmittelbare Nähe bestimmt sind, und daraus wird es erklärlich, warum wir bei den mit schneller Ortsbewegung begabten Arthropoden (insbesondere den fliegenden) sehr entwickelte Augen der erstern Art neben einfachen, bei den kriechenden dagegen, wie z. B. den Arachniden und einer Anzahl Schmarotzern, nur Augen der letzteren Art antreffen. Die einfachen Augen liegen unbeweglich ohne besondere Hülle in der äusseren Bedeckung eingegraben, die Cornea, welche auch hier nur ein durchsichtiger Ueberzug der äusseren Haut ist, schliesst sich dicht an die stark convexe Linse an, welche in dem Glaskörper eingebettet liegt. Die becherförmige Retina wird äusserlich von einer dunkeln Pigmentschicht, der Chorioidea, umgeben. Bei den Arthropoden, wo einfache Augen allein vorhanden sind, liegen sie meist in grösserer Anzahl und zwar in Gruppen geordnet zu beiden Seiten des Kopfes, bei den Arachniden in der Mitte; wo neben ihnen zusammengesetzte Augen vorkommen, liegen sie zwischen den letzteren, meist in geringer Zahl, mehr oder weniger gerade nach vorn gerichtet.

Die zusammengesetzten Augen liegen wie die einfachen ohne gesonderte Sclerotica unmittelbar in der Körperoberfläche eingebettet, die äusseren Bedeckungen ziehen sich auch hier durchsichtig über die Augen weg, und vertreten so die Stelle einer Cornea. Diese Cornea ist in eine verschieden grosse Anzahl (bis 12,000) regelmässig vier- oder sechseckiger Façetten abgetheilt; bei einigen Crustaceen zerfällt sie in zwei Schichten, von denen nur die untere (innere) façettirt, die äussere dagegen völlig glatt ist. Die einzelnen Façetten sind theils plan, theils aber, und zwar bei der Mehrzahl solcher Augen, schwach biconvex. Hinter jeder solchen Hornhautfaçette liegt ein kugelförmiges Auge, dessen Basis genau die Gestalt der Façette hat, dessen Achse senkrecht auf der Façette steht, dessen Spitze in einen Faden des Sehnerven ausläuft. Bei der gekrümmten mehr oder weniger halbkugelförmigen Oberfläche der gesammten Hornhaut müssen die Kegel alle nach hinten convergiren, die Sehnervenfäden, welche so ziemlich den Achsen derselben entsprechen, convergirend in den Stamm des Sehnerven zusammenlaufen. Das Innere jeden solchen Augenkegels ist genau von einem Glaskörper von gleicher Gestalt ausgefüllt, der sich in der Regel unmittelbar an die hintere Fläche der Hornhautfaçette anlegt, und nur bei einigen Thieren durch eine biconvexe Linse von derselben getrennt ist. Die Wand der Kegel wird von einer Chorioidea, d. h. einer durch Tracheenzweigelchen zusammengehaltenen Pigmentschicht gebildet, welche bei einigen Thieren an der Basis der Kegel noch ein Stückchen auf die hintere Façettenwand übertritt, und so auf dieser eine ringförmige unbewegliche Iris repräsentirt. Ob die Sehnervenfaser, welche sich an die Spitze des Glaskegels inserirt, dort stumpf endigt, oder durch weiteres Zerfallen in feinere Elemente eine Retina bildet, ist noch nicht erwiesen; nur bei einigen Thieren sieht man die Spitze des Glaskegels von dem Nervenende ein Stückchen weit scheidenartig umfasst werden.

Aus dem Bau dieser zusammengesetzten (musivischen) Augen geht leicht hervor, dass das Sehen mittelst derselben nicht in derselben Weise stattfinden kann, wie mit den einfachen Augen der höheren Wirbelthiere, ebenso anders, als mit den schon betrachteten elementären

einfachen Augen der niederen Thiere. Da wir von dem physikalisch-physiologischen Hergang des Sehens überhaupt erst später handeln werden, können wir hier nur kurz die wichtigsten optischen Verschiedenheiten der musivischen Augen hervorheben, aus welchen sich später bei Vergleichung der optischen Verhältnisse der vollkommenen Augen leicht die ganze Physiologie der fraglichen Gebilde wird ableiten lassen. Jeder Glaskegel eines zusammengesetzten Auges bildet ein Auge für sich, jede einzelne Nervenfaser ist mit einem gesonderten optischen Vorbau versehen. Jedes solche Auge kann bei seiner Gestalt nur einen ihm direct gegenüberliegenden leuchtenden Punkt zur Empfindung bringen, d. h. von einem solchen Punkt werden wahrscheinlich nur die Strahlen auf den Sehnerven fallen, welche in der Richtung der Achse des Kegels ankommen, also senkrecht die Mitte der Façette treffen, während die unter einem Winkel zur Achse auffallenden von den Pigmentwänden des Kegels absorbirt werden; wo die Hornhautfaçetten nicht plan, sondern biconvex sind, oder wo hinter der Hornhaut ein linsenartiger Abschnitt des Glaskörpers liegt, werden allerdings auch einige der seitlichen Strahlen nach der Spitze des Kegels zugebrochen werden. Bei der nach hinten convergirenden Richtung der einzelnen Kegel kann ein leuchtender Punkt immer nur in der Richtung der Achse eines Augenkegels liegen, schon der diesem zunächst liegende Kegel wird wenig oder keine Strahlen mehr von dem seinem Nachbar gegenüberliegenden leuchtenden Punkt empfinden, um so weniger, je grösser die Convergenz der Achsen ist, welche erstens von der Krümmung der gesammten Augenoberfläche, zweitens von der Zahl der auf einem bestimmten Oberflächenabschnitt zusammenliegenden Kegel abhängt. Von einem leuchtenden Körper wird daher je ein Punkt jedesmal nur in je einem Augenkegel repräsentirt; je mehr von den verlängerten Kegelachsen den leuchtenden Körper treffen, desto mehr, in je geringeren Abständen von einander sie ihn treffen, desto näher an einander gelegene Punkte dieses Körpers werden empfunden. Aber selbst unter den günstigsten Verhältnissen werden zwischen den empfundenen Punkten solche liegen, deren Strahlen in keinem Glaskegel den Nerven erreichen können; es wird demnach in dem Complex der einzelnen Augen nicht ein vollkommnes Bild eines leuchtenden Körpers, in welchem Punkt für Punkt repräsentirt wäre, sondern nur ein mosaikartig aus einzelnen von einander durch nicht wahrnehmbare Punkte getrennten Theilchen zusammengesetztes Bild empfunden werden. Je weniger Augenkegel auf einem bestimmten Flächenabschnitt liegen, je mehr deren Achsen nach hinten convergiren, desto gröber wird jene Mosaik, d. h. aus desto weniger und desto weiter von einander entfernten Punkten wird das Bild zusammengesetzt sein. Da fast nur der Achsenstrahl eines leuchtenden Punktes empfunden wird, so wird die Entfernung

des Punktes für die Empfindung gleichgültig sein, von einem leuchtenden Körper aber werden, je ferner er liegt, desto weniger Punkte senkrechte Strahlen in die entsprechenden Augenkegel schicken können, er wird daher mit der Entfernung undeutlicher wahrgenommen werden. Bei der halbkugelförmigen Gestalt des ganzen zusammengesetzten Auges muss das Gesichtsfeld sehr bedeutend sein, d. h. dem Raume entsprechen, der von den verlängerten Achsen der rings an der Peripherie gelegenen Augenkegel umfasst wird. Bei der entgegengesetzten Lage beider Augen wird aber nie ein Punkt in Kegeln beider Augen zugleich empfunden werden; nie convergiren die Achsen zweier Kegel aus den verschiedenen Augen nach aussen.

Obgleich die Wirbelthiere ohnstreitig weit vollkommnere Augen haben, als die Wirbellosen, so kommen doch bei den Fischen, Amphibien und Säugethieren wieder Gattungen oder Arten vor, denen die Augen fehlen, oder die nur Rudimente derselben besitzen. Unter den Fischen treten die Augenlider in unvollkommner Form auf bei den Hayen und Schellen, ja *carcharia* hat deutliche Nickhaut. Die Häute des Augapfels werden vollständig von einander getrennt und jede erlangt die ihr eigene Selbstständigkeit. Die Sclerotica ist oft knorpelig, ja knöohern und die Chorioidea hat äusserlich eine silberglänzende Lage feiner krystallinischer Nadeln, darauf die Pigmentschicht mit der Uvea und zu unterst die Gefässschicht. Die Netzhaut, welche deutliche Stäbchen und Zwillingszapfen trägt, hat, da sie nur als der mantelförmige Umschlag des eine gefaltete Haut darstellenden Sehnerven um den Glaskörper anzusehn ist, eine vom Eintritt des Sehnerven bis zum vordern Rande gehende Spalte, durch welche sich von der Chorioidea aus eine gefässreiche Falte, der *processus falciformis*, bis zum Rand der Linsenkapsel begiebt.

Der Ciliarkörper, dessen erste Anlage wir schon bei den Cephalopoden sahen, tritt deutlicher und bestimmter auf. Die Linse ist kugelrund, bekommt eine Kapsel und ragt bis in die vordere Augenkammer. Bei den Reptilien thun die Hülfsorgane einen wichtigen Schritt vorwärts, denn obgleich bei den Schlangen die Haut über das Auge weggeht, so haben doch die Frösche, Chelonier und Crocodile Augenlider und Nickhaut mit Harder'scher Drüse und bei den beschuppten Amphibien

treten die Thränenorgane zuerst auf. An den Häuten des Augapfels sind als Vorbereitung auf spätere Formen besonders zu bemerken: die Knochenschuppen am Rande der Sclerotica, das deutliche *corpus ciliare;* die Iris wird wegen der weitern Augenkammern bei den luftathmenden Amphibien ziemlich beweglich. Der Sehnerv bildet ein deutliches Chiasma mit blätterförmiger Kreuzung der innersten Bündel, das mit schwarzem Pigment versehene Pecten, welches nur eine weitere Entwicklung des *processus falciformis* ist, erstreckt sich bis zum Rande der Linsenkapsel, erlangt aber bei den Vögeln erst seine volle Entwicklung; der Glaskörper ist meist klein, nur bei den Cheloniern schon gross. Das Vogelauge ist meist gross und mit leicht beweglichen Augenlidern bedeckt, besonders ist die Nickhaut mit einem eigenthümlichen Bewegungsapparate versehen. Am vordern Rande der Sclerotica werden die Knochenschuppen regelmässiger und bilden einen vollen Ring. Das Ciliarband und der *canalis Fontanae* treten auf und der Sichelfortsatz der Amphibien wird zum falten- und pigmentreichen Fächer. Die Iris ist sehr und zum Theil willkührlich beweglich. Die Linse ist nach der Lebensart des Vogels hier weniger, dort mehr platt und der Glaskörper im Ganzen noch von geringem Umfange. Das Auge der Säugethiere steht dem des Menschen sehr nahe und unterscheidet sich von dem vorigen durch den Mangel des Knochenringes in dem vorderen Rande der Sclerotica, der Abwesenheit des Fächers und von dem des Menschen durch den Mangel des gelben Fleckes. Die Menge des Augenwassers, die Gestalt der Linse und die Grösse des Glaskörpers sind verschieden, jenachdem das Thier im Wasser, oder in der Luft, oder unter der Erde lebt, am Tage oder des Nachts nach Nahrung geht; demgemäss ist auch die Wölbung der Hornhaut, der Längs- und Querdurchmesser des Auges verschieden.

§. 116.

Entwicklung des Auges im Embryo.

Bis zum Anfange des dritten Monats liegen die Augen ganz frei und die Haut geht unmittelbar über sie weg; in der 10.—11.

Woche aber erheben sich ein Paar Hautwülstchen, die sich zu Augenlidern entwickeln und im 4. Monat mit einander verwachsen, um sich später wieder zu trennen. Die Entwicklung der Thränenorgane ist noch wenig gekannt, die Thränendrüse findet man schon zu Anfange des 3. Monats. Der Augapfel entsteht wie das Ohrlabyrinth aus einer Ausstülpung oder sackartigen Hervorwucherung der Hirnblase und zwar, wie Günther sich an Hühnchen und Kaninchen überzeugte, nach v. Bär, v. Ammon, Bischoff, jedes Auge für sich. Die Ansicht von Huschke[1]), dass beide Augen aus einer gemeinschaftlichen Hervorwucherung oder Ausstülpung der Hirnblase entstehen, erklärt zwar die hier und da vorkommende Bildungsanomalie der Cyclopie sehr gut, ist aber nicht in der Wirklichkeit begründet. Den ersten Anfang bemerkt man zu einer Zeit, wo die Rückenplatten am Schädeltheile des Medullarrohres noch nicht geschlossen sind. Aus einer Anfangs ganz flachen, dann tiefern und später birnförmigen Ausbuchtung aus dem untern seitlichen Theile der vordern Hirnblase bildet sich der Augapfel und der Sehnerv. Wie die Hirnblase ursprünglich die harte Hirnhaut, die Spinnwebenhaut, die weiche Hirnhaut und Hirnmasse darstellt, so gehn aus dem zur Augenbildung bestimmten und ausgestülpten Theile die Sclerotica, (die *lamina fusca*,) die Chorioidea, die Netzhaut und die durchsichtigen Medien des Auges hervor. Gehen wir nun ins Einzelne, so weit unser Plan es uns erlaubt, so finden wir, dass die Sonderung des Augapfels von dem Sehnerven durch allmälige Verengerung, oder richtiger durch langsameres Wachsen des hintern Theils und schnelleres des vordern Theils der Ausstülpung geschieht, so dass Letzterer das Uebergewicht über den Erstern erlangt. Die äussere Schicht der Ausstülpung wandelt sich in die äussere Lage der Augenhäute, in Sclerotica und Cornea um. Die Erstere, die etwa Anfangs des 3. Monats von der Hornhaut unterschieden werden kann, ist dünn, durchscheinend und daher selbst beim Neugebornen noch bläulich; die Hornhaut dagegen ist dick, stark gewölbt, trübe und von röthlichem Ansehn, welche Verhältnisse

---

1) Vergl. Meckel's Archiv 1832, p. 1.

sich gewöhnlich bis zur Geburt hin ausgleichen. Die Chorioidea, welche der weichen Hirnhaut entspricht, ist eher vorhanden, als ihr Pigment, Günther konnte sie als ein zartes mit vielen Zellen untermengtes Gewebe bei dem schon früher erwähnten siebenwöchentlichen Fötus unterscheiden. Die vorhandenen Zellen waren wohl zum Theil Bildungszellen, zum Theil Pigmentzellen, in denen sich erst einige Zeit später die Pigmentmolecüle absetzen. Und zwar geschieht diese Pigmentablagerung zunächst am vordern Rande der Chorioidea, von da aus verbreitet sich dasselbe über die ganze Chorioidea mit Ausnahme der sogenannten Chorioidalspalte, d. i. eines an der inneren, unteren Seite der Gefässhaut von dem Eintrittspunkte des Sehnerven nach dem vordern Rand laufenden pigmentlosen Streifens. Nach v. Bär ist an dieser Stelle eine in den Glaskörper eindringende Falte, welche bei den Vögeln auch noch die Chorioidea in sich aufnimmt und den Kamm darstellt, bei dem Menschen aber schon zeitig von vorn nach rückwärts schwindet. Mit diesem Schwinden setzt sich Pigment auch an dieser Stelle der Chorioidea ab und in der Netzhaut bleibt die Falte des gelben Fleckes und dieser selbst bildet sich später an dieser Stelle aus. Gegen das Ende des 3. Monats legt sich der sich verlängernde vordere Rand der Chorioidea nach der Augenachse hin in Fältchen, die viel Pigment in sich aufnehmen und den Ciliarkörper, Faltenkranz darstellen. Später erst, im 4. Monate wächst die Iris ringförmig aus dem vordern Theile der Chorioidea hervor, wird breiter und damit beginnt eine deutliche Trennung der beiden Augenkammern. Zwischen der Sclerotika und der Chorioidea findet sich beim zarten Embryo eine nicht genau erkannte seröse (?) Schicht, die als *lamina fusca* bekannt ist und der Spinnenwebehaut des Gehirns entsprechen würde. Hier ist die Frage zu berühren, ob die Descemet'sche Haut der vordern Augenkammer mit diesem Gebilde früher zusammenhängt, eine Fortsetzung desselben ist und durch das Ciliarband erst später davon abgetrennt wird, oder ob sie eine spätere selbstständige Bildung sei. Günther erklärt sich mit Henle für das Letztere, denn so viel Embryonen er auch in dieser Hinsicht untersuchte, entweder die Descemet'sche

Haut war noch gar nicht zu unterscheiden, oder wenn sie später vorhanden war, so hatte sie durchaus keine Gemeinschaft mit der *lamina fusca*. Das trennende *Lig. ciliare* ist im 3. Monate von Valentin gesehen worden. Die Netzhaut ist als ein gesondertes Gebilde von Günther erst in der siebenten, von Arnold schon in der vierten Woche unterschieden worden. Ihr dicker vorderer Rand ragt im 3. Monate bis an den Rand der Linse, dann aber, wenn der Faltenkranz sich bildet, zieht sie sich zurück, verdünnt sich und ihr vorderer Rand scheint in das im 4. Monate bemerkbare Strahlenplättchen, *zonula ciliaris* überzugehn. Die durchsichtigen Medien des Auges, die Linse und der Glaskörper entstehn sehr zeitig, dabei ist der Glaskörper relativ zur Linse klein und diese dafür gross. Letztere ist auch tiefer in den erstern eingesenkt, weich und wie der Glaskörper röthlich gefärbt. Huschke wollte beobachtet haben, dass die Linse und die Augenkammern durch Einstülpung und Abschnürung von der Hornhaut entständen, deshalb liege auch die Linse verhältnissmässig lange an der hintern Fläche der Hornhaut. Günther konnte aber weder bei Hühnern noch bei Kaninchen eben so wenig wie v. Ammon eine dieser Ansicht entsprechende Form je auffinden. Noch haben wir eines besondern Gebildes zu erwähnen. Man kennt nämlich schon seit Haller eine die Pupille beim Fötus verschliessende gefässreiche Haut, die man Pupillarmembran nannte und eine andere von der hintern Kapselwand durch die hintere Augenkammer zur hintern Fläche der Iris und zur Pupillarmembran gehende Haut, die *membrana capsulo-pupillaris*. Diese beiden Gebilde hängen nach Henle mit einander zusammen und sind Eins, müssen also einen geschlossenen Sack bilden. Da nun, wie wir gesehn haben, früher die Linse der Hornhaut unmittelbar anliegt, die Augenkammern noch ganz fehlen, so scheint dieser Sack ursprünglich nur die Linse zu umhüllen und mit dem Entstehen der Augenkammern, besonders aber der Regenbogenhaut sich erst von der Hornhaut zu entfernen. Der hinterste Theil des Sackes würde immer an der Linse bleiben, der mittlere würde die *membrana capsulo-pupillaris* und der vorderste die *membrana pupillaris* darstellen. So weit diese

Ansicht jetzt auch angenommen ist, so bleibt deshalb doch noch manches Dunkel, z. B. das Verhalten dieses Sackes zur Hornhaut, die Art wie er sich allmälig von dieser entfernt, ob das Hereinwachsen der Iris damit im Zusammenhange sei, das Verhalten zur Linsenkapsel etc. Diese Schwierigkeiten würden sich sehr vermindern, wenn die Ansicht Huschke's sich nur irgend bestätigen wollte, dass nämlich die Linse durch Einstülpung von der Hornhaut aus entstünde. Die Pupillarmembran schwindet, wie es scheint, gewöhnlich im siebenten, achten Monate. Von dem Schwinden der Kapselpupillarhaut haben wir gar keine Kenntniss.

§. 117.

Mikroskopische Anatomie der Sehwerkzeuge.

Die Gebilde, welche die Augenlider zusammensetzen, sind schon an den betreffenden Stellen der allgemeinen Geweblehre berührt worden. Die Meibom'schen Drüsen, welche zwischen dem Faserknorpel der Augendeckel liegen, sind so leicht mit blossen Augen oder der Lupe zu erkennen, ihre Structur so einfach, dass wir sie als aus der descriptiven Anatomie bekannt voraussetzen können.

Auch von dem Baue der Bindehaut ist bereits früher die Rede gewesen.

Die Thränendrüsen zeigen in ihrer histologischen Constitution keine wesentliche Abweichung von den Speicheldrüsen.

Die Thränenkanälchen und der Thränensack bestehen aus einer Grundlage von Bindegewebe mit eingestreuten elastischen Fasern, welche auf der Innenwand der Kanäle mit Flimmerepithel belegt ist.

Die Hornhaut (Tab. III. Fig. 1.), welche äusserlich und innerlich von einer mit Epithel besetzten Glashaut überzogen ist, besteht in ihrer Hauptmasse aus platten Faserbündeln, welche ihre Fasern oft gegenseitig austauschen, sich aber schwer in ihre einzelnen Fibrillen zertrennen lassen. Die sich vielfach durchkreuzenden Bündel bilden auf diese Weise ein verzweigtes Maschennetz mit engeren und weiteren Maschen, welche sich

künstlich mit Luft aufblasen lassen und dann der Cornea das Ansehn eines mit Luft gefüllten Zellenpolsters geben. Die Substanz der Faserbündel ist jedenfalls dem Bindegewebe sehr nahe verwandt, wo nicht identisch damit; der einzige Unterschied ist der, dass sie nach J. Müller nicht, wie das Bindegewebe, beim Kochen Leim, sondern Chondrin giebt, worauf indessen bei der nahen Verwandtschaft beider Körper kein zu hohes Gewicht zu legen ist. Günther glaubt, dass das Gewebe der Cornea an ihrem Rande streng abgesetzt ist von dem der angränzenden Sclerotica, Koelliker [1]) erklärt dagegen mit grosser Bestimmtheit, dass sich die Faserbündel der Cornea direct und ohne Unterbrechung in die Faserlagen der Sclerotica fortsetzen, so dass keine scharfe Gränze zwischen beiden Häuten existirt. Ich selbst habe mich von diesem Uebergang der Fasern am Hornhautrande von Kalbsaugen auf das Entschiedenste überzeugt. Zwischen den beschriebenen Faserbündeln findet man zahlreiche kernhaltige Zellen, welche meist von spindelförmiger Gestalt sind und zum Theil unter einander communiciren, deren Kerne besonders auf Zusatz von Essigsäure deutlich hervortreten.

Die Demours'sche Haut, welche die der vorderen Augenkammer zugekehrte Hornhautfläche überzieht, gehört, wie erwähnt, zu den sogenannten Glashäuten. Bei einzölligen Schaafsembryonen sah sie Günther deutlich aus quadratischen platten mit Kernen versehenen Zellen zusammengesetzt, bei zweizölligen dagegen waren die Contouren der Zellen nicht mehr, sondern nur noch die Kerne (zum Theil mit Kernkörperchen) wahrzunehmen. An dem Hornhautrande geht diese Glashaut nach Bowman in ein feines Fibrillennetz über, welches zum grössten Theil auf die vordere Fläche der Iris sich fortsetzt und mit deren Gewebe verwächst, (*ligamentum iridis pectinatum*). Der innere Epithelialüberzug der Demours'schen Haut besteht aus einem ziemlich grosszelligen Pflasterepithelium.

Die Art der Gefässverbreitung in der Hornhaut, und die damit eng zusammenhängende Frage der Ernährungsweise dieses Gebildes

---

1) Koelliker, Hdb. d. Gewebel. p. 587.

ist noch heutzutage der Gegenstand eines Streites, welcher seit langer Zeit von Physiologen und Ophthalmiatrikern fortgesponnen worden ist[1]). Während man sich früher fast allgemein zu der Ansicht hinneigte, dass die Ernährung der Hornhaut durch einfache Imbibition des Kammerwassers erfolge, und die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Ernährungsweise dem entsprechenden physiologischen Vorgang in andern Geweben gegenüber mit naiven Vergleichen und grösstentheils nichtssagenden Beweisen zu beschönigen suchte, ist man neuerdings fast allgemein dahin übereingekommen, dass auch der Hornhaut wie jedem anderen Gewebe eine von dem Kammerwasser wesentlich verschiedene plastische Ernährungsflüssigkeit zukomme; der streitige Punkt ist daher jetzt nur noch die Art der Zuleitung dieses Plasmas zu dem Hornhautparenchym, die Natur der Ernährungsgefässe desselben. Es ist zwar noch nicht gelungen, die Parenchymflüssigkeit der Hornhaut gesondert in hinreichenden Mengen zu erhalten, um sie zu analysiren; eine vorläufige qualitative Untersuchung der durch destillirtes Wasser aus einer grossen Anzahl feingewiegter Kalbcorneen ausziehbaren Flüssigkeit hat mich indessen genügend über deren Differenz vom Kammerwasser belehrt; sie enthält nicht nur beträchlichere Mengen durch Hitze coagulirbaren Eiweisses, sondern auch nicht geringe Quantitäten Casëin, von dessen Gegenwart ich mich nach Entfernung des Albumins durch Anwendung von Essigsäure und Lab überzeugte. Sie steht in dieser Beziehung anderen näher untersuchten parenchymatösen Säften, insbesondere dem der contractilen Faserzellen[2]) sehr nahe. Dass diese Flüssigkeit in den Zwischenräumen des Maschennetzes der Hornhautfaserbündel enthalten ist, scheint mir unzweifelhaft. Welches sind aber die Gefässe, von denen dieselbe abgesondert wird? So viel steht fest, dass im physiologischen Zustand die Hornhaut äusserst arm an blutkörperchenführenden Capillaren ist, dass solche beim Menschen wenigstens nur in den äussersten Randtheil derselben eintreten, um nach kurzem Verlauf schlingenartig umzubiegen[3]), während in pathologischen Zuständen, bei Entzündungen der Hornhaut, oft ausserordentlich zahlreiche injicirte Capillaren in den oberflächlichen wie in den tieferen Parenchymschichten zum Vorschein kommen. Die meisten Ophthalmologen halten letztere für vollständige Neubildungen aus dem entzündlichen Exsudat, andere dagegen nur für pathologische Erweiterungen schon im Normalzustand vorhandener Saftröhren, der so-

1) Eine sehr ausführliche kritische Besprechung der sämmtlichen hierher gehörigen Literatur findet sich bei Coccius: Ueber die Ernährungsweise der Hornhaut u. s. w. Leipzig 1852. — 2) Vergl. Lehmann, Lhrb. d. phys. Chem. Bd. III. p. 73. — 3) Vergl. Koelliker, Hdbch. der Gewebel. p. 590. Coccius, a. a. O. p. 81.

genannten serösen Gefässe, d. h. solcher Gefässe, welche zu eng sind, um Blutkörperchen durch ihr Lumen passiren zu lassen, und daher nur Serum führen. Gegen die Betrachtung der bei Keratitis auftretenden Gefässe als völlige Neubildungen sprechen manche Gründe, wie ihre Entstehung von den physiologischen Randgefässen aus; ja die Exsudation selbst lässt, wenn sie z. B. fern von den Randgefässen im Centrum der Cornea auftritt, auf die Präexistenz von Gefässen schliessen. Allein der sichere anatomische Nachweis seröser Gefässe durch deutliche Injectionen von den blutkörperchenführenden Capillaren aus ist noch heute ein Desiderat, wenn sich auch manche gewichtige Stimmen für die vor kurzem allgemein geläugnete Existenz derselben erhoben haben. Sehen wir von den zahlreichen Angaben früherer Autoren (Boerhave, Vieussens, Bichat, Hovius, Blumenbach, Schultz u. s. w.) ab, welche mit Bestimmtheit Gefässe von viel geringerem Durchmesser, als ein Blutkörperchen hat, beobachtet und injicirt haben wollen, so ist von Neueren zuerst Hyrtl [1]) wieder als Vertheidiger derselben aufgetreten; derselbe sah die injicirten Randcapillaren der Cornea ein Stück in dieselbe vordringen und dann ohne in Venen überzugehen aufhören, und glaubt daher, dass sie sich in die fraglichen serösen Gefässe fortsetzen, welche vielleicht mit Lymphgefässen communicirten. Wenn nun auch diese Beobachtung keinen Beweis liefern kann, zumal da Gerlach [2]), Koelliker [3]) u. A. mit Sicherheit das Umbiegen und Rückläufigwerden jener Randcapillaren nachwiesen, so verdienen doch einige andere Angaben volle Beachtung. Koelliker [4]) sah von den Schlingen der Blutkörperchencapillaren aus feine netzförmig verbundene Aestchen ausgehen und sich durch das ganze Hornhautparenchym verbreiten; es liess sich an denselben zwar weder Lumen noch Inhalt und Communication desselben mit dem Capillarröhren direct nachweisen, Koelliker betrachtet dieselben aber entschieden als Theile des Gefässsystems, und zwar im Fall sie geschlossen sein sollten, als die obliterirten embryonalen Corneacapillaren, und vielleicht für identisch mit den von Henle [4]) beobachteten dünnen Verbindungsfäden zwischen den feinsten Hirncapillaren. In neuester Zeit hat Coccius [5]) sehr sorgfältige Untersuchungen über die Gefässverbreitung in der Cornea angestellt; er fand nicht allein, dass bei manchen Thieren, besonders beim Ochsen und Schöps die wirklichen Blutcapillaren in grösserer Zahl und Ausdehnung vorhanden sind, als man bis jetzt annahm, dass sich netzförmig verbundene Schlingen oft bis in die Mitte der Hornhaut erstrecken, wie ich mich selbst an Prä-

---

1) Hyrtl, Lehrb. der Anat. p. 50. — 2) Gerlach, Hdb. der Gewebl. p. 186. — 3) Koelliker, Hdb. der Gewebel. p. 590. — 4) Henle, Allgem. Anat. p. 477. — 5) Coccius, a. a. O. p. 81 u. f.

paraten von Coccius wiederholt überzeugt habe, sondern er machte auch die Bedeutung der schon genannten Kernfaserelemente der Hornhaut als seröse Gefässe mehr als wahrscheinlich. Schon Virchow[1]) sprach sich für die Möglichkeit einer Saftleitung durch die fraglichen Gebilde (Bindegewebskörperchen) aus, Coccius gelang es, die directe Communication derselben mit den Capillarröhren nachzuweisen, indem er sie wiederholt von letzteren aus mit Blutlösung füllte. Er wies ferner nach, dass die bei Hornhautentzündung zum Vorschein kommenden Capillaren aus Convoluten dieser Kernfaserelemente entstehen, indem mit Capillaren zusammenhängende Reihen derselben von jenen aus gefüllt, erweitert und durch Resorption der Zwischenwände in Gefässe verwandelt werden.

Wie über die Blutgefässe, so ist auch über die Lymphgefässe der Hornhaut, ihre Communication mit ersteren vielfach gestritten worden; ein sicherer Nachweis derselben ist noch von keinem Beobachter geliefert worden.

Nerven entdeckte zuerst Schlemm[2]) in der Hornhaut; Valentin[3]), Brücke[4]) und Koelliker[5]) bestätigten dieselben. Sie entspringen von den *nerv. ciliar.*, treten rings vom Rande der Sclerotica her in die Hornhaut, verlieren aber in derselben bald ihre dunkeln Contouren und bilden ein feines Netz sehr dünner blasser ganz durchsichtiger Fasern.

Die Sclerotica besteht ihrer Hauptgrundlage nach aus mannigfach unter einander verflochtenen Bündeln von Bindegewebsfasern, in welche sich elastische Fasern einmengen. An den Bündeln bemerkt man meistens einen wellenförmigen Lauf der Fasern und öfterer Austauschen der Letztern. Essigsäure macht auch hier die elastischen Fasern sichtbarer, indem sie die übrigen durchsichtig macht und später auflöst. Zugleich werden aber auch eine Menge kernhaltiger Zellen sichtbar. Die braune Färbung der innern Fläche oder Schicht rührt von verästelten Pigmentzellen her.

Gefässe finden sich nur in ziemlich spärlicher Verbreitung in der Sclerotica, möglicherweise dienen auch hier die Kernfaserelemente als

---

1) Virchow, Verh. der Würzb. Ges. Bd. II. Nr. 10 u. 11. — 2) Schlemm, Berl. encyclop. med. Wrtrb. IV. p. 22. — 3) Valentin, *de funct. nerv.* p. 19. — 4) Brücke, anat. Beschr. des menschl. Augapfels. Berlin 1847. p. 10. — 5) Koelliker, Mitth. der naturf. Ges. in Zürich 1848. Nr. 19, Hdb. der Gewebel. p. 591.

saftführende Gefässe. Die Existenz von Nerven in dieser Haut ist noch sehr zweifelhaft.

Die Chorioidea des Auges ist ein Complex von Pigmentzellen, Gefässen, Nerven und einem fasrigen Gewebe, dessen Identität mit Bindegewebe von Koelliker [1]) wegen seiner Resistenz gegen Alkalien und Säuren bezweifelt wird; ob man dieses Fasergewebe, oder die massenhaften Gefässverzweigungen als Grundlage der Chorioidea ansehen will, ist ziemlich willkührlich. Man hat mehrere Schichten in ihr unterschieden, von denen jedoch nur zwei anatomisch getrennt sind, die eigentliche Gefässhaut und die innere Pigmentschicht. Erste ist nach aussen von einer ziemlich locker zusammenhängenden Lage sternförmiger Pigmentzellen bedeckt (*lamina fusca*), unter welcher zunächst die gröberen Arterien und Venenzweigelchen liegen, während deren ausserordentlich reiches dichtes Capillarnetz mehr nach der Pigmentschicht zu liegt. Die eigenthümlichen strudelförmigen Windungen der venösen Gefässe (*vortices*) sind aus der Anatomie bekannt. Die innere Pigmentlage besteht aus einer dicht gedrängten Schicht regelmässig sechsseitiger Zellen, welche dicht mit feinen dunkelbraunen, um den lichten Kern herumgelagerten Pigmentkörnchen erfüllt sind. An diesen Körnchen ist, besonders wenn sie aus der Zellenwand heraustreten, ausserordentlich lebhafte Molecularbewegung wahrzunehmen. An dem vordern Rand der Chorioidea ist diese Pigmentschicht fest mit der Glashaut, *zonula Zinnii*, verwachsen, der hintere Theil ist mit der *retina* nur locker verbunden.

Die Hauptelemente der Regenbogenhaut sind uns schon bekannt. Im ersten Theile pag. 370 haben wir die Muskelfasern, pag. 421 die Nerven kennen gelernt.

An der citirten Stelle des ersten Theiles sind die Muskelfasern der Iris unter der Rubrik: „Muskelfasern mit dem Charakter des Bindegewebes" beschrieben worden; nach den neueren Forschungen indessen sind solche Muskelfasern als besondere histologische Klasse durchaus nicht mehr statuirbar. Die Muskelfasern der Iris gehören zu den glatten, den contractilen Faserzellen Koelliker's, und sind als solche vom Bindegewebe wesentlich verschieden; neben diesen Muskelfasern

---

1) Koelliker, Hdb. der Gewebel. p. 593.

besitzt aber die Iris entschieden wirkliches Bindegewebe, dessen Bündel im Ganzen dieselbe Anordnung befolgen wie jene, d. h. theils radial vom Irisrand nach der Pupille zu, theils kreisförmig dem Pupillenrand parallel verlaufen. Die contractilen Faserzellen sind am deutlichsten am Rande der Pupille, welche sie als eine Art Schliessmuskel, in Form eines schmalen Ringes umgeben, nachzuweisen, indessen ziemlich schwer isolirt darzustellen.

Die vordere Fläche der Iris ist wie die hintere der Cornea von einer einfachen Epithelialzellenlage überzogen. Auf der hinteren Irisfläche befindet sich die dichte Pigmentlage der *uvea*, welche eine unmittelbare Fortsetzung des Pigmentüberzugs des *corpus ciliare* ist. Ausser diesem Pigment befindet sich solches noch in dem Gewebe der Iris selbst, nach Kölliker[1]) theils frei zwischen den Gewebselementen derselben, theils innerhalb derselben, so auch in den contractilen Faserzellen, und selbst in den äusseren Epithelialzellen; von diesem eigenen Irispigment soll hauptsächlich die verschiedene Färbung dieser Haut herrühren.

Die Blutgefässe laufen von dem Ciliarrande radienartig mehr oder weniger geschlängelt gegen den Pupillarrand, erreichen diesen aber nicht, sondern in einer bestimmten Entfernung von diesem theilt sich das Gefässchen in zwei Seitenäste, die sich mit dem benachbarten verbinden und so den grossen Bogen der Iris darstellen, aus dem nun neue Aestchen entspringen, bis an den Pupillarrand vordringen, sich daselbst wieder in ähnlicher Art verhalten und den kleinen Bogen bilden. Diese Blutgefässchen verlaufen also sehr regelmässig, bilden sehr regelmässige Anastomosen, in deren Folge sie sich leicht gleichmässig anfüllen, so wie entleeren können. Die venösen Gefässe liegen mehr nach der hintern Fläche der Iris hin.

Das Ciliarband ist schon oft der Gegenstand von Untersuchungen der geübtesten Mikroskopiker gewesen und doch sind die Meinungen über die Natur der dieselbe bildenden Fasern sehr getheilt, denn während Lieutaud dasselbe für ein Nervengeflecht, Sömmering, Cloquet und J. M. Weber[2])

---

1) Koelliker, a. a. O. p. 596. — 2) J. M. Weber, in Gräfe u. v. Walther's Journal XI. p. 391.

für ein Nervenganglion ansehn, hält v. Ammon[1]) es für mehr sehniger Natur; Eble[2]) hält die Grundlage des Strahlenbandes für gewöhnliches Zellgewebe mit vieler Gallerte und zahlreichen Blutgefässen. Arnold[3]), Valentin[4]), Krause[5]) und Huschke[6]) sehen die Elementartheile desselben für Zellgewebe oder Bindegewebe an mit zahlreichen Nervenfasern, die theils nur durch dasselbe durchsetzen, theils in demselben Endschlingen machen und in der neuesten Zeit hat Brücke[7]) dasselbe für den Spannmuskel der Chorioidea erklärt. Ebenso betrachtet Koelliker[8]) die Elemente des fraglichen Gebildes entschieden als contractile Faserzellen, welche indessen etwas kürzer und breiter als die gewöhnlichen Faserzellen, fein granulirt, und so zart und vergänglich sind, dass sie ausserordentlich schwer von einander zu isoliren sind.

Nach Günther's Untersuchungen finden sich in dem Ciliarbande ausser den Gefässen und Nerven dreierlei verschiedene Fasern. (Tab. III. Fig. 2.) Gegen die Sclerotica hin (a), also am vordern Rande findet man vorherrschend formloses Bindegewebe, dagegen mehr nach der Chorioidea zu trifft man etwas dickere eigenthümlich und vielfach, fast darmähnlich gewundene, sehr elastische und doch brüchige Fasern, an denen man nicht selten hakenförmige Enden bemerkt. Die Faser selbst zeigt bisweilen deutliche Querlinien, die von einer elastischen Zusammenziehung, plötzlichen Zusammenschnellen bei der Präparation herzurühren scheinen. Diese Fasern Günther's sind höchst wahrscheinlich die Faserzellen Koelliker's. Neben diesen findet sich noch (d) eine eigenthümliche starre, steife Faser, deren Stückchen man mit Glassplittern vergleichen möchte, in denen man bei gedämpftem Lichte oft noch eine Theilung in kleinere

---

1) v. Ammon, Rust's Magazin XXX. p. 242 u. 255. — 2) Eble, in v. Ammon's Ztschrift. II. p. 170. — 3) Arnold, Untersuchungen über d. Auge. 1832. p. 54. — 4) Valentin, Hdwörterb. d. Physiologie I. p. 753. — 5) Krause, Hdbch. d. Anat. Hannover 1843. II. p. 526. — 6) Huschke, in Sömmering's Lehre v. d. Eingeweiden. Leipzig 1844. p. 686. — 7) Brücke, Anat. Beschreibung d. menschlichen Augapfels. Berl. 1847. p. 18. — 8) Koelliker, a. a. O. p. 593.

ähnliche Splitter angedeutet findet. Diese drei Faserarten stellen die Grundlage des Ciliarbandes dar, in welche dann zahlreiche Ciliarnerven (b) eindringen, und grösstentheils nur durchgehn; ein geringerer Theil vermengt sich mit der faserigen Grundlage und ist schwer weiter zu verfolgen, da die einzelnen Fäden dünn und schwer von dem Grundgewebe zu unterscheiden sind. Deshalb hat man wohl auch das Ganze für ein Nervengeflecht oder einen Nervenknoten von hoher Bedeutung für die Irisnerven angesehn. Die Gefässe des Ciliarbandes sind, wie die Nerven, theils nur durchsetzende und zur Iris gehende, theils in dem Grundgewebe sich ausbreitende; letztere sind bei Neugebornen sehr zahlreich, nehmen später an Menge ab, doch findet man auch bei Erwachsenen noch eine Menge eigener Gefässe [1]).

Die Netzhaut bietet in ihrer histologischen Untersuchung die meisten Schwierigkeiten dar, daher sich erst in der neuesten Zeit die Ansichten über ihren Bau in mehreren Punkten zwar vereinigen, in anderen aber immer noch von einander abweichen. Arthur Jacob [2]) wendete derselben zuerst seine besondere Aufmerksamkeit zu und behandelte besonders die äussere Schicht derselben, die nach ihm den Namen Jacob'sche Haut erhielt. Später bearbeiteten Volkmann [3]), Langenbeck [4]) und Treviranus [5]) diese Haut und Letzterer gab die Idee zur fernern Prüfung, dass die Stäbchen der äussern Schicht die Endigungen der Primitivcylinder der Netzhaut seien. Gottsche [6]) unterschied schon vier Schichten der Netzhaut: 1) die Gefässausbreitung, 2) die Nervenausbreitung, 3) das zellgewebige Substrat der Netzhaut und 4) die äussere Lage. Das, was dieser Beobachter Wirbel der Netzhaut nennt, sind wahrscheinlich die sich zum Theil umlagernden Stäbchen der äussern Schicht. Besonderen Fortschritt machte unsere Kenntniss der

---

1) Eble, v. Ammon Ztschrft. II. p. 181. — 2) Jacob, *Med. Chir. Transact. Vol. XII. Part. II. Lond.* 1822. — 3) Volkmann, Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1836. — 4) Langenbeck, *De retina observationes anatomicae. pathologicae. Gotting.* 1836. — 5) Treviranus, Beiträge zur Aufklärung des org. Lebens. II. — 6) Gottsche, Pfaff's Journal. II. p. 40.

Netzhaut 1837 durch Valentin's[1]) Bemühungen. Derselbe unterschied ausser der Jacob'schen Haut: 1) die Nervenfaserhaut, 2) die Kugeln der innern Belegungsmasse und 3) die Schicht der eigenthümlichen Körnchen. Im Jahre 1839 sah man ziemlich allgemein die Stäbchenschicht als die äusserste an, so Bidder[2]) und Pappenheim[3]); Henle[4]), welcher überhaupt eine genauere Kenntniss der Elementartheile der Netzhaut verbreitete, vermuthete in den Stäbchen die Fortsetzungen der Nerven und setzte sie auf die innere Fläche der Netzhaut. Remak[5]) nahm drei Schichten der Netzhaut an: die innerste oder Stäbchenschicht, die mittlere aus Nervenröhren gebildete und die äussere Pflaster- oder Zellenschicht, leugnet aber den Uebergang der Nerven in die Stäbchen. Auch Bruns leugnete den Zusammenhang zwischen Stäbchen und Nerven, Krause[6]) stellte schon eine den heutigen Ansichten ziemlich entsprechende Reihenfolge der Schichten auf und während Henle die Zwillingszapfen bei den Säugethieren (1841) noch leugnete, beschrieb sie Pappenheim beim Menschen. Lange hielt sich die Ansicht Henle's, dass die innere Fläche der Nervenausbreitung von einem aus kugeligen Zellen bestehenden Epithel belegt sei, und Bidder[7]) stellte folgende Schichten auf: Stäbchenschicht, Nervenkugeln, Nervenfasern, Zellschicht oder Epithel. Um diese Zeit (1844) erwarb sich Hannover[8]) ein Verdienst um die genauere Kenntniss der hier einschlagenden Verhältnisse. Brücke[9]) lässt die eigentliche Retina von innen nach aussen aus der Nervenausbreitung, den Hirnzellen, der Körnerschicht oder Nuclearformation bestehn und

---

1) Valentin, Repertorium. II. p. 249 u. f. — 2) Bidder, J. Müller's Archiv 1839, p. 371. u. 1841, p. 248. — 3) Pappenheim, Specielle Geweblehre des Gehörorgans. Breslau 1840. p. 100, 117 u. 128. — 4) Henle, J. Müller's Archiv. 1839. p. 170. Allg. Anat. p. 661 u. 385. — 5) Remak, J. Müller's Archiv 1839. p. 165. — 6) Krause, Hdbch. der Anat. Abthlg. III. p. 537. — 7) Bidder, J. Müller's Archiv 1844. — 8) Hannover, *Recherches anatomiques sur le systeme nerveux. Copenh. Leipzig* 1844. u. J. Müller's Archiv. 1840. p. 321. — 9) Brücke, Anat. Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin 1847.

betrachtet die Stäbchenschicht als nicht dazu gehörig, wie es schon Hannover that; die innere Fläche der Netzhaut ist nach seiner, wie nach Henle's Ansicht mit einer glasartigen Haut, der *membrana limitans* überzogen. Pacini [1]) trennte folgende Schichten der Retina: 1) weisse Nervenfasern, 2) Nervenzellen, 3) graue Nervenfasern, 4) Nervenkerne, 5) Stäbchenschicht oder Jacob'sche Haut. Eine vortreffliche Untersuchung der Retina, hauptsächlich auf vergleichend-anatomischem Boden, lieferte H. Müller [2]) und eröffnete durch seine Beobachtungen eine neue, früher nur theilweise vermuthete (Henle) Anschauungsweise der Retinaelemente, indem er den Zusammenhang der Stäbchenschicht, welche meist als völlig getrennte Abtheilung betrachtet wurde, mit den die Nervenhaut senkrecht auf ihre Fläche durchsetzenden Fäden nachwies und als ein continuirliches radiäres Fasersystem beschrieb. Dieser wichtigen Arbeit reihen sich unmittelbar die neuesten Forschungen Koelliker's [3]) an, welcher mit gewohnter Klarheit auch über diesen Theil des histologischen Bodens neues Licht verbreitete. Er unterscheidet folgende von aussen nach innen auf einander folgende Schichten der Netzhaut: 1) die Schicht der Stäbchen und Zapfen, 2) die Körnerschicht, 3) die Lage von grauer Nervensubstanz, 4) die Ausbreitung des Opticus, 5) die Begränzungshaut. Gehen wir jetzt nach diesem historischen Ueberblick, welcher hinreichend für die ausserordentliche Schwierigkeit der sichern Erforschung der Netzhautstructur Zeugniss giebt, zur speciellen Betrachtung der Retinaelemente über, unter steter Berücksichtigung der (mir im Manuscript vorliegenden) sorgfältigen eigenen Untersuchungen Günther's. (Taf. III. Fig. 3.).

Im Allgemeinen ist zu bemerken, dass die Netzhaut nicht überall von gleicher Dicke ist, sondern an der Eintrittsstelle des *nervus opticus* am dicksten, und von da nach allen Seiten hin gegen ihre vordere Gränze, die *ora serrata*, wo sie einen scharfen

---

1) Pacini, Ueber die feinere Textur der Retina. Aus dem Ital. (*Nuov. ann. d. scienz. nat. di Bol.* 1845) übers. Freiburg 1847. — 2) H. Müller, zur Histologie der Netzhaut, Ztschr. f. wissensch. Zool. 1851. p. 234. — 3) Koelliker, a. a. O. p. 598.

Rand bildet, gleichmässig an Dicke abnimmt. Die Gränzschicht nach innen, nach dem Glaskörper, bildet eine structurlose Glashaut, *membrana limitans*, wie sie bereits im 1. Bd. pag. 217 beschrieben ist. Günther fand dieselbe bei jungen Thieren und Embryonen, wie die Demours'sche Haut, aus platten vierseitigen kernhaltigen Zellen zusammengesetzt, welche jedoch bei älteren Thieren meist vollständig zu Grunde gehen. Frühere Beobachter haben der äusseren Fläche dieser Glashaut einen eigenen Epithelialüberzug zugeschrieben, dessen Existenz indessen sehr zweifelhaft ist. Koelliker sah zuweilen an ganz frischen Netzhäuten an der genannten Stelle einen schmalen hellen Saum, welcher aus einer Reihe heller glänzender Kugeln bestand, konnte sich jedoch von einem Kern in ihnen und ihrer Zellennatur überhaupt nicht überzeugen. Wahrscheinlich sind dieselben nur Produkte der Präparation, durch Verletzung der später zu beschreibenden Faserelemente entstanden; wenigstens bilden sich ganz gleiche helle Kügelchen auch in den übrigen Theilen der Netzhaut, besonders der Jacob'schen Haut, ausserordentlich leicht bei Druck, ja schon bei der einfachen Einwirkung des Wassers.

Die zweite Schicht bildet die eigentliche Faserlage des Sehnerven. Nachdem der Opticus unter Abgabe seiner Bindegewebshüllen die Sclerotica durchbohrt hat, strahlen seine zarten blassen Fasern zu Bündeln vereinigt nach allen Richtungen hin aus; diese parallel der Retinaoberfläche vom Eintritt des Opticus bis zur *ora serrata* unter allmäliger Dickenabnahme verlaufenden Bündel verflechten sich durch gegenseitigen Faseraustausch zu einer dichten Schicht, ohne erhebliche Maschenräume. Leider ist der wichtigste Theil der Netzhauthistologie, die Endigung der Opticusfasern, noch völlig im Dunkeln; noch keinem Beobachter ist es gelungen, auch nur einen einzigen Sehnervenfaden mit Sicherheit bis zu seinem fraglichen Ende zu verfolgen, sein peripherisches Schicksal zu eruiren. Krause will Schlingen der Primitivcylinder gesehn haben, und Pacini bildet dieselben sogar ab; allein abgesehen davon, dass mit der Bestätigung dieser Beobachtung noch nicht viel gewonnen wäre, so lange nicht das weitere Schicksal des rückläufigen

Schenkels ermittelt wäre, haben die Mehrzahl der neueren Forscher sich von der Existenz jener Schlingen nicht überzeugen können. Die allmälige Dickenabnahme der gesammten Faserschicht gegen die *ora serrata* hin zeigt auf das Evidenteste, dass unterwegs Elemente von ihr abgegeben sein müssen. Ebenso klar ist *a priori*, dass die zu Bündeln verflochtenen Fasern unmöglich zur Aufnahme der Lichteindrücke geschickt sind, dass sie daher isolirt zur Endigung kommen, die einzelnen Enden, wie in jedem andern Sinnesorgan, mit der Qualität des Eindruckes entsprechenden peripherischen Aufnahmeapparaten armirt sein müssen. Je einleuchtender dieses Postulat, desto annehmbarer muss bei dem Mangel directer Lösungen der Frage eine Hypothese erscheinen, von welcher wir weiter unten handeln werden, welche von Thatsachen unterstützt eine sehr plausible Erklärung über den Zusammenhang und die Bedeutung der Netzhautelemente und insbesondere die peripherische Endigungsweise des Sehnerven giebt.

Von den einzelnen Primitivfasern des Opticus während ihres Verlaufes in dem in Rede stehenden Retinastratum ist noch zu bemerken, dass sie im Mittel nur 0,0002 — 0,0006''' dick sind, ausserordentlich blasse Contouren zeigen, und die Zartheit ihrer Hüllen, wenn dieselben vorhanden sind, besonders durch ihre grosse Geneigtheit zur Bildung von Varicositäten zu erkennen geben.

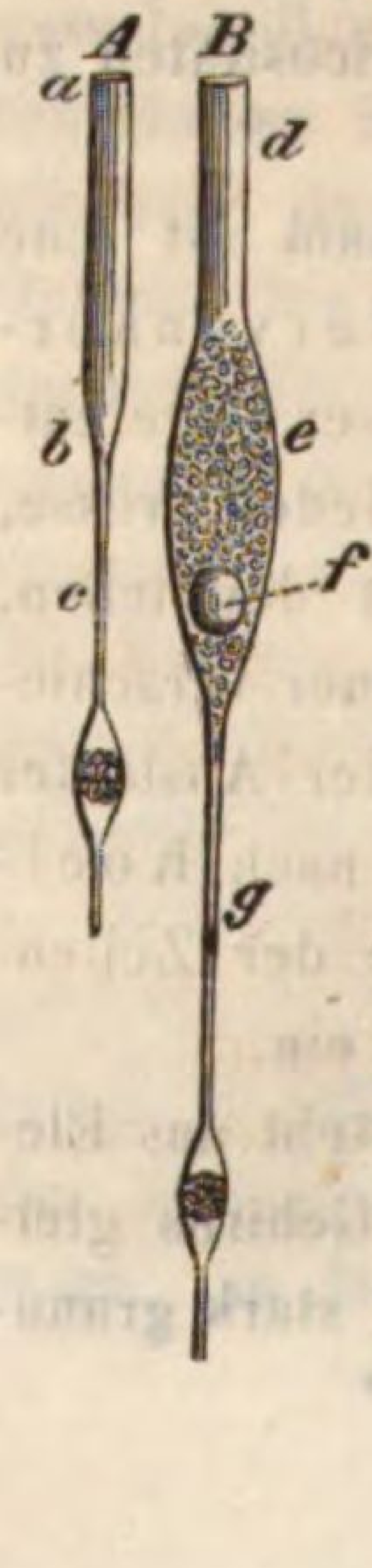
Die nächstfolgende dritte Schicht der Netzhaut ist eine Lage grauer Hirnsubstanz, die Schicht der Nervenkörper oder Nervenzellen. Die Zellengebilde dieser Lage entsprechen ganz denen der Hirnsubstanz, sind verschieden grosse, runde oder längliche oder polygonale Zellen mit deutlichen, grossen, glänzenden Kernen, und sind meist mit einer verschiedenen Anzahl blasser, fadenartiger, sich verästelnder Ausläufer versehen, deren Endigung noch nicht ermittelt ist; nach Koelliker biegen diese Fortsätze am äusseren Rande der Zellenschicht um, dringen nicht in die folgende Schicht ein.

Diese, die sogenannte Körnerschicht, besteht aus Elementen, welche den bipolaren Ganglienzellen des Gehirns gleichen, d. h. die Körner sind kleine, meist längliche, stark granu-

31 *

lirte Körperchen, welche an zwei sich gegenüberstehenden Enden in zwei feine fadenartige Fortsätze ausgezogen sind. Die Fortsätze sind senkrecht gegen die Fläche der Netzhaut gerichtet. Während frühere Beobachter keine scharfe Gränze zwischen dieser und der vorigen Netzhautschicht annahmen, gränzen die Neueren nicht nur beide Schichten bestimmt von einander ab, sondern Koelliker theilt sogar die Körnerschicht beim Menschen, wenigstens im hintern dickern Theil der Netzhaut, in zwei gesonderte Abtheilungen, eine äussere stärkere und eine innere schwächere Lage, welche durch eine senkrecht gestreifte Schicht getrennt sind.

Wir kommen nun zu der letzten äussersten Retinaschicht, der von allen am vielfachsten untersuchten, und doch meist nicht richtig erkannten Jacob'schen Haut, oder der Stäbchen- und Zapfenschicht. Allgemein hat man bisher dieselbe als eine völlig isolirte mit den übrigen Netzhautschichten nicht verbundene Lage betrachtet; H. Müller und Koelliker haben durch sorgfältige Untersuchungen an Thieren und Menschen erwiesen, dass die Elemente dieser Haut, die Stäbchen und Zapfen mittelst fadenartiger Fortsätze die ganze Netzhaut bis zur inneren Oberfläche durchsetzen, mit den Körnern der Körnerschicht in Verbindung, und höchstwahrscheinlich mit den Fasern des Opticus selbst in directem Zusammenhang stehen.

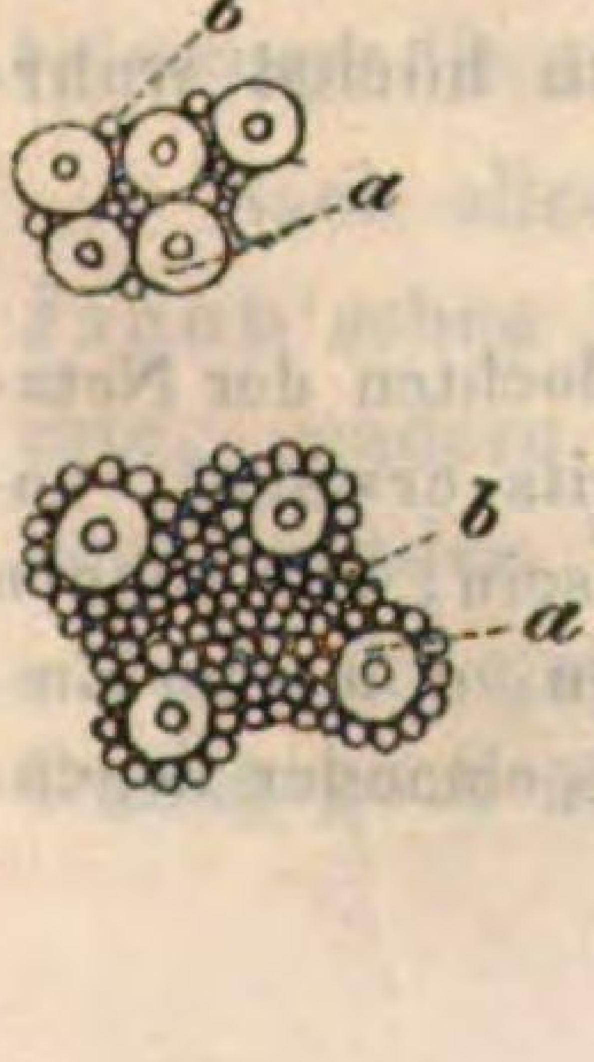


Man hat bisher immer die Jacob'sche Haut in zwei gesonderte Schichten getrennt, eine innere, die Zapfenschicht, und eine äussere, die eigentliche Stäbchenschicht. Diese Trennung ist jedoch anatomisch nicht begründet; die Stäbchen wie die Zapfen reichen bis an die Chorioidea und schicken Fortsätze durch die inneren Netzhautschichten. Die eigentlichen Stäbchen A sind durchsichtige, stark lichtbrechende, etwa 0,011''' lange Cylinder, deren äusseres quer abgeschnittenes Ende a auf den Pigmentzellen der Chorioidea ruht, deren inneres zugespitztes Ende b in einen dünnen zarten Faden c ausläuft, welcher sich in die Körnerschicht begiebt.

Die Zapfen B zerfallen in zwei Abtheilungen, von denen bisher fast nur der eine als Zapfen beschrieben wurde. Nach aussen bestehen sie aus einem den eigentlichen Stäbchen vollkommen gleichen cylindrischen Körper d, an dessen innerem Ende die zapfenförmige, bauchige Auftreibung e, sitzt, welche neben einem granulösen Inhalt einen deutlichen stark lichtbrechenden kuglichen Kern f an ihrem inneren Ende trägt, und sich nach innen wie die Stäbchen in einen fadenförmigen zarten Ausläufer g fortsetzt. Die Länge der zapfenförmigen Anschwellungen ist so ziemlich derjenigen der eigentlichen Stäbchen gleich (etwa 0,010'''), ihre Breite ist schwer zu messen, da sie, sobald sie aus dem Verbande mit den benachbarten Theilen austreten, ihren Umfang zu vergrössern und anzuschwellen pflegen. Beide Gebilde, die Stäbchen wie die Zapfen, sind überhaupt so zart und leicht zerstörbar, dass es ausserordentlich schwer ist, sich über ihre Form und Stellung in der Jacob'schen Haut sicher zu unterrichten. Der fadenförmige Ausläufer beider reisst so leicht ab, dass er bisher der Beobachtung ganz entgangen war, die getrennten Stäbchen nehmen besonders auf Wasserzusatz die mannigfachsten Formen an, knicken winklig zusammen, krümmen sich haken- oder S förmig, treiben ihren glashellen Inhalt kugelförmig aus den durch Abreissen der Fäden verletzten spitzen Enden hervor, u. s. w.

Um diese Gebilde zu untersuchen, thut man am besten, ein Stückchen Glaskörper zugleich mit Netzhaut und Gefässhaut rasch von dem Uebrigen zu trennen, vorsichtig ohne Wasserzusatz auszubreiten und die Chorioidea möglichst zu entfernen. Der geringste Druck oder Wasserzusatz legt die Stäbchen um, dass sie wie steife kurze Haare in Wirbel geordnet erscheinen, und trennt sie von ihren Fortsätzen.

Von der Anordnung der Stäbchen und Zapfen überzeugt man sich am besten, wenn man die Jacob'sche Haut von Aussen betrachtet, wo dann die unteren Enden der Stäbchen als kleine runde Kreise, die Zapfen dagegen als grosse helle Blasen mit kleinen, ihren stäbchenförmigen Fortsätzen entsprechenden centralen Kreisen erscheinen. In der Gegend der *macula lutea* stehen die Zapfen a so dicht, dass kaum einzelne Stäbchen b in den Lücken



zwischen ihnen Platz finden, je weiter nach der *ora serrata* zu, desto weiter stehen die Zapfen auseinander, desto zahlreichere Reihen einfacher Stäbchen sind zwischen sie eingeschaltet. Auf senkrechten Durchschnitten erscheinen beide Gebilde parallel, mit ihren Enden senkrecht gegen die Chorioidea gerichtet.

Es bleibt uns noch übrig, über den weiteren Verlauf der fadenförmigen inneren Ausläufer von Stäbchen und Zapfen, wie er sich nach den vortrefflichen Untersuchungen Müller's und Koelliker's herausgestellt hat, zu berichten. Es lassen sich diese Faden, wie schon erwähnt, durch sämmtliche Schichten der Netzhaut bis zur *membrana limitans* verfolgen. Jeder solche Faden tritt in ein Korn der Körnerschicht ein und aus demselben wieder heraus, in Form der zwei entgegengesetzten Ausläufer, deren wir schon bei Beschreibung der Körnerschicht selbst Erwähnung thaten; die Fäden der eigentlichen Stäbchen verbinden sich auf diese Weise mit den Körnern der äusseren, die der Zapfen mit denen der inneren Körnerschicht. Der aus dem Korn nach innen heraustretende Faden geht senkrecht durch die Lage der Nervenzellen durch, tritt sodann in die maschenförmigen Zwischenräume der zu Bündeln vereinigten Opticusfasern und durch diese zur *membrana limitans*. Hier schwellen dieselben nach Koelliker zum Theil zu kleinen dreiseitigen Pyramiden an, deren Basis an die *membr. limit.* gränzt, von deren Ecken mehrere zarte blasse Endausläufer ausgehen; andere spalten sich direct, ohne vorher anzuschwellen, in eine grössere Anzahl solcher Endästchen, welche horizontal umbiegen und sich zurück in die Faserlage des Opticus begeben. Was hier aus ihnen wird, wie sie hier endigen, ob sie sich mit den Fasern des Opticus verbinden, ist noch nicht ermittelt; jedoch ist letzteres aus physiologischen Gründen höchst wahrscheinlich.

Die Opticusfasern, so lange sie zu Bündeln verflochten der Netzhautoberfläche parallel verlaufen, können, wie bereits erwähnt, unmöglich zur Aufnahme der Lichteindrücke geschickt sein; wir können mit Bestimmtheit *a priori* behaupten, dass zum Sehen, d. h. zum Empfinden eines Bildes, welches aus einer Menge neben einander liegen-

der punktförmiger Lichteindrücke von verschiedener Intensität und Farbe zusammengesetzt zu denken ist, ebenso die Auflösung des Fasernetzes des Opticus in seine einzelnen Elemente und deren räumlich getrennte Endigung an der Peripherie erforderlich ist, als zum Tasten die Sonderung der Primitivfasern der Tastnerven und deren Endigung in den Tastwärzchen *conditio, sine qua non* ist. Licht im Allgemeinen kann wohl auch ein solcher Complex von Fasern, wie er sich in der Faserlage der Netzhaut befindet, empfinden, sowie der Stamm der Tastnerven auf Druck auch Schmerz empfindet, aber zwei neben einander befindliche leuchtende Punkte können nur dann als räumlich getrennt wahrgenommen werden, wenn zwei denselben entsprechende empfindsame Punkte, die Enden von zwei verschiedenen Primitivfasern vorhanden sind. Bei der Lage der Fasern in der Nervenfaserlage der Retina aber werden sehr häufig zwei verschiedene Lichteindrücke dieselbe Faser, nur an verschiedenen Stellen ihres Verlaufs, treffen, und ein einziger elementärer Lichteindruck fast immer mehrere hinter einander liegende Fasern gleichzeitig afficiren. Suchen wir in der Netzhaut nach Organen, welche den genannten Postulaten einer deutlichen Gesichtsempfindung entsprechen, so drängen sich uns von selbst die Stäbchen und Zapfen ihrer Gestalt und Anordnung nach auf. Alles vereinigt sich, die schon früher öfter ausgesprochene Hypothese zu unterstützen, dass diese Elemente die eigentlichen Perceptionsorgane für die Lichteindrücke sind, die Opticusfasern der Faserlage aber dieselben von jenen übernehmen und ihre Weiterleitung zu den Centralorganen besorgen. Die von Müller und Koelliker ermittelte Fortsetzung der Stäbchen und Zapfen bis an die innere Netzhautoberfläche legt für diese Hypothese ein bedeutendes Gewicht mehr in die Wagschaale; wir dürfen jetzt mit Sicherheit von fernern Forschungen erwarten, dass sie den Uebergang der Stäbchen und Zapfen in die eigentlichen Sehnervenfasern anatomisch nachweisen. Ist diese jetzt noch hypothetische Function der Stäbchen und Zapfen begründet, so ist es auch kein Räthsel mehr, warum die Stelle der Retina, welche die grösste Lichtempfindlichkeit besitzt, die *macula lutea* nur spärliche Nervenfasern, dagegen dichtgedrängte Zapfen besitzt, während die Eintrittsstelle des Opticus, wo dessen Faserbündel am dichtesten beisammen liegen, erfahrungsmässig unempfindlich für das Licht ist.

Nach alledem stehen wir nicht mehr an, die Elemente der Jacob'schen Haut nicht mehr als untergeordnete Nebenapparate, sondern als die wichtigsten Theile der Netzhaut, als die empfindenden Vorbaue der Sehnervenenden zu betrachten.

Nach einigen Beobachtern sollen sich Nervenfasern der Retina noch über die *ora serrata* hinaus nach vorn bis an die

Linsenkapsel erstrecken, äusserlich noch mit Zellen oder Kügelchen belegt. Es finden sich aber jenseits der genannten Gränze keine Elemente, welche mit Sicherheit als Nervencylinder betrachtet werden könnten. Die pigmentfreien polygonalen blassen Zellen, mit denen man die *zonula Zinnii* an dieser Stelle äusserlich belegt findet, welche man gewöhnlich als Elemente der Netzhaut gedeutet hat, gehören entschieden der Chorioidea an, und sind vollkommen identisch mit den dieselbe auskleidenden Pigmentzellen, nur dass eben die Pigmentkörner in ihnen fehlen.

Die *membrana hyaloidea* hat ganz den schon beschriebenen einfachen Charakter der „Glashäute", nur ihr als *zonula Zinnii* beschriebenes vorderes Ende, welches von der *ora serrata* bis zur Linsenkapsel reicht, zeichnet sich durch besondere histologische Elemente aus. Sie besteht nämlich aus ganz eigenthümlichen, blassen, theils sehr feinen, theils stärkern geraden oder wenig gebogenen Fasern, welche ihrem Habitus und chemischen Verhalten nach den Bindegewebsfibrillen am nächsten stehen, doch nicht ganz identisch mit denselben erscheinen, in keinem Fall sind sie jedoch, wie Retzius annahm, als Muskelfasern zu betrachten.

Nachdem wir so die histologische Constitution der verschiedenen die Augapfelwände bildenden häutigen Gebilde betrachtet haben, wenden wir uns zur Morphologie der centralen den Augapfel ausfüllenden durchsichtigen Medien, und zwar zunächst zur Linse mit ihrer Kapsel.

Die Kenntniss von der inneren Structur dieses für das Sehen so wichtigen Gebildes verdanken wir vorzüglich den Bemühungen von Werneck[1]), Huschke[2]), Brücke[3]), Hannover[4]) und Koelliker[5]).

Es ist eine bekannte Thatsache, dass die Linse beim Liegen im Wasser auf der vordern, wie auf der hintern Fläche eine Yför-

1) Werneck, in v. Ammon Journ. IV. p. 1. u. V. p. 403 u. f. — 2) Huschke, Ebenda. III. p. 20. — 3) Brücke, Anatomische Beschreibung des menschlichen Auges. p. 27. — 4) Hannover, J. Müller's Archiv 1845. p. 478. — 5) Koelliker, a. a. O. p. 608.

mige Figur zeigt. Die Figuren beider Flächen haben aber entgegengesetzte Lagen, nämlich die eine so Y, die andere so ⅄. Nicht selten ändern sich diese Figuren in Dreiecke um, von deren Winkeln dann noch kurze Schenkel auslaufen, aber weder in dem einen, noch in dem andern Falle erreichen die Schenkel den Rand der Linse. Von diesen Figuren aus lässt sich die Linse in Blätter zwiebelartig spalten und die Blätter wieder in Fasern theilen. Diese Fasern gehen aus dem Winkel der einen Figur um den Rand der Linse gegen den Schenkel der andern Figur. Nach der angegebenen Lage beider Figuren zu einander müssen die Linsenfasern, welche eine Schicht oder ein Blatt darstellen, von ziemlich gleicher Länge sein, denn was sie auf der einen Fläche, wo sie z. B. am Schenkel der Figur entspringen, verlieren, gewinnen sie auf der andern Fläche, wo sie im Winkel der Figur endigen; nur die stärkere Wölbung der hintern Linsenfläche bedingt einige Verschiedenheit [1]).

Die Blätter geben unter dem Mikroskop eine hübsche Abwechslung von Licht und Schatten. Auf dem Querdurchschnitt bemerkt man, dass die die Blätter zusammensetzenden Linsenfasern sechsseitige Prismen sind, die sich gegenseitig abplatten und zwar so, dass der etwas breitere Durchmesser von 0,006 bis 0,010mm in der Breite des Blattes, der kürzere von 0,003mm in der Dicke desselben liegt. Es scheint jedoch, als wenn diese sogenannten Linsenfasern nicht wirkliche homogene Fasern, sondern Röhren mit Inhalt wären, wenigstens sieht man häufig an zufällig abgerissenen Enden wie Tropfen einer zähen Masse hervorgequollen. Dass der unter dem Namen Globulin beschriebene eiweissartige Körper den wesentlichen Bestandtheil der Linse ausmacht, ist eine bekannte Thatsache, wahrscheinlich bildet er den Inhalt der Faserröhren; aus welchem Material aber die Röhrenwand besteht, ist nicht ermittelt.

Beim Menschen sind diese Fasern mit glatten Rändern und Flächen an einander gefügt, bei vielen Thieren dagegen vermit-

---

1) Ungewöhnliche Formen dieser Figur sehe man bei Werneck und bei Hannover.

teln gezahnte Ränder diese Verbindung. Die so zusammengesetzten äusseren Blätter laufen den Flächen der Linse parallel und lassen sich leicht darstellen, je näher man aber dem Kerne der Linse kommt, desto schwieriger sind sie zu trennen und desto mehr nähern sie sich in ihrem Verlaufe der Kugelgestalt. Der Theil der Linse, welcher die beschriebenen Figuren auf beiden Flächen bildet, wird aus Zellen von verschiedener Grösse zusammengesetzt.

Zwischen Linse und Linsenkapsel liegen ebenfalls eine Menge schon von Werneck und Meyer Ahrens[1]) gekannte Zellen, welche locker an einander gefügt, einen Epithelialüberzug über die innere Kapselfläche bilden, nach dem Tode aber von einander getrennt in dem sogenannten *liquor Morgagni* suspendirt sich finden. Höchst wahrscheinlich ist dieser *liquor*, wie Koelliker richtig hervorhebt, nicht als solcher präformirt im Auge vorhanden, sondern bildet sich beim Anschneiden der Linsenkapsel aus eingedrungenem *humor aqueus* und den losgelösten Kapselepithelien.

Die Linsenkapsel gehört zu den Glashäuten und ist als solche schon beschrieben worden.

Die feinere Structur des Glaskörpers ist besonders in den neueren Zeiten der Gegenstand sorgfältiger Untersuchungen gewesen; doch sind die Resultate derselben leider nicht übereinstimmend; während einige mit Bestimmtheit einen lamellösen oder fächerigen Bau des Glaskörpers nachgewiesen zu haben behaupten, vertheidigen andere ebenso entschieden die völlig homologe Beschaffenheit desselben. Insbesondere sind zu erwähnen die Arbeiten von Pappenheim[2]), Brücke[3]), Hannover[4]), Bowman[5]), Virchow[6]) und Koelliker[7]). Pappenheim glaubte zuerst Spuren der blätterigen Structur

1) Meyer Ahrens, J. Müller's Archiv 1838. p. 259. — 2) Pappenheim, Geweblehre des Auges p. 183. — 3) Brücke, J. Müller's Archiv 1843. p. 345; 1845. p. 130. — 4) Hannover, J. Müller's Archiv 1845. p. 471. — 5) Bowman, *Lectures on the parts concern. in the operat. on the eye etc. London* 1849. — 6) Virchow, Archiv für path. Anat. IV. p. 468. — 7) Koelliker, a. a. O. p. 612.

erkannt zu haben, Brücke demonstrirte den zwiebelartigen Bau des Glaskörpers der Thiere an mit essigsaurem Bleioxyd behandelten Präparaten, und Hannover erkannte an den in Chromsäure erhärteten Präparaten, dass der Glaskörper des Menschen keine solche zwiebelartige, wohl aber in anderer Richtung blätterige Structur habe. Nämlich von der Peripherie nach der Achse des Auges, oder genauer nach dem *canalis hyaloideus*, in dem beim Kinde die Fortsetzung der *art. centralis retinae* verläuft, gehen nach ihm Scheidewände, welche Sectoren abgränzen, ähnlich wie man sie in den Apfelsinen findet, sie erreichen aber jenen Kanal nicht, verlieren sich vielmehr in einer structurlosen Masse, welche den Kern des Glaskörpers bildet. Manche der Sectoren endigen auch schon eher als andere, indem sie mit benachbarten zusammenfliessen. Hannover hat an zwei Augen ohngefähr 180 Sectoren gezählt, so dass der peripherische Umfang eines einzelnen ohngefähr 0,3‴ sein würde, wenn der innere Umfang des Auges zu 30‴ angenommen wird. Leider sind alle diese speciellen mühsam ermittelten Angaben nur für den durch Chromsäure erhärteten, nicht aber für den frischen Glaskörper gültig, jene Sectoren oder Zwiebelblätter ebenso nur Kunstprodukte, wie Bowman's Muskelscheiben. Wenigstens lässt sich an frischen Glaskörpern niemals auch nur eine Spur einer solchen Structur, am wenigsten die Gegenwart bestimmter Scheidewände nachweisen. Nur im embryonalen Glaskörper lässt sich ein von Virchow zuerst richtig erkanntes zellgewebiges Gerüste auffinden, welches der Träger der embryonalen Blutgefässe des Glaskörpers ist, später aber mit diesen spurlos verschwindet. Dieses Gerüst besteht fast nur aus granulirten kernhaltigen Zellen, welche in der schleimartigen Grundsubstanz meist isolirt und nur stellenweise besonders am Rande in einer Art Maschennetz aus einem feinfaserigen Gewebe eingebettet liegen.

§. 118.

Nach dieser Betrachtung der histologischen Verhältnisse der einzelnen das Auge zusammensetzenden Theile, wird es, ehe wir auf die specielle Physiologie dieser Theile übergehen, zweck-

mässig sein, in einer übersichtlichen kurzen Darstellung die Bestimmung der einzelnen Augentheile kennen zu lernen.

Um die Erscheinungen der Aussenwelt, die wir Licht, Farbe, Schatten nennen, wahrnehmen zu können, ist das erste Erforderniss ein Nerv, der sich in seine Elementartheile auflöset, sich häutig ausbreitet, d. i. die Netzhaut bildet, welche Haut aber auch theils einer entsprechenden Unterlage, theils eines Mittels bedarf, welches ihr das Licht zuleitet, d. i. der Glaskörper; da aber auch das ganze Bild der Aussenwelt sich in dem engen Raume eines einfachen Auges darstellen soll, so muss auch ein Mittel da sein, welches das Licht zweckmässig bricht, das ist die Linse. Da ferner die durch den Rand der Linse gehenden Strahlen stärker gegen die Achse gebrochen werden als die in der Nähe des Centrums durchgehenden, so vereinigen sie sich nicht mit einander in einem Punkte, es kann also auch kein deutliches Bild entstehen, das Bild wird von Farbenzerstreuungsringen umgeben sein; um diesen Uebelstand zu vermeiden, werden die Randstrahlen durch die vor die Linse gestellte Iris ganz abgehalten. Diese Iris dient zugleich als Moderator der in das Auge eindringenden Lichtmenge. Bei alledem würde der Sehnerv nur undeutliche Eindrücke empfangen können, denn das zur Netzhaut gelangende Licht wird, da diese durchsichtig ist, sie durchdringen, trifft es nun auf feuchte glänzende Dinge, so wird es reflectirt werden, die Netzhaut noch einmal treffen und dadurch Störungen hervorrufen; dieses zu verhüten dient das schwarze Pigment. Zuletzt wird das Ganze noch von einer festen Hülle oder Kapsel, der Sclerotica umgeben, welche nothwendig vorn einen durchsichtigen Theil, die Hornhaut, trägt. Diese Hornhaut dient aber nicht nur als Lichtloch oder Fenster des Auges, sondern ist, da sie die Lichtstrahlen zuerst aus dem dünneren Medium, der Luft, empfängt und diese gegen das Einfallsloth oder hier die Achse des Auges hin bricht, als lichtbrechendes Medium von grosser Wichtigkeit. So finden wir in dem Auge das vollendetste optische Instrument, in dem wir die Gesetze der physikalischen Optik aufs Genaueste befolgt finden.

§. 119.

Function der einzelnen Theile des Augapfels.

Die Hornhaut der Augen mit collectiv dioptrischen Medien, also auch die des Menschen, stellt, da die hintere Fläche parabolisch ausgehöhlt ist, einen das Licht zerstreuenden Meniskus dar, sobald sie vom Auge getrennt auf beiden Seiten von Luft umgeben ist. Denn das Licht oder die Lichtstrahlen, welche durch die vordere Fläche beim Uebertritt aus einem dünneren Medium, der Luft, in das dichtere Medium, die Substanz der Hornhaut, gegen das Einfallsloth gebrochen werden (der Brechungsexponent der Hornhaut ist nach Chossat 1,33), würden dann bei ihrem Austritt an der concaven Fläche, wenn diese der convexen parallel ginge, ebenso viel wieder vom Einfallsloth abgelenkt, also in die frühere Richtung gebracht werden, da aber nun die hintere Fläche parabolisch ausgehöhlt ist, so müsste hier das Licht stärker von dem Lothe weggelenkt oder zerstreut werden, als es auf der vordern Fläche gegen das Loth gebrochen worden war, die Hornhaut sich demnach als eine Zerstreuungslinse verhalten. Dem ist aber in der Wirklichkeit nicht so, denn die hintere Fläche der Hornhaut gränzt unmittelbar an ein Medium von fast gleichem Brechungsexponenten, an die wässerige Feuchtigkeit der Augenkammern, und beide stellen zusammen ein Medium (oder eine Linse) dar, in welchem die Richtung des Strahles beim Uebergange aus der Hornhaut in die wässerige Feuchtigkeit nicht geändert wird.

Anmerkung. Schon Chossat [1]) lehrte, dass die vordere Fläche der Hornhaut nicht sphärisch oder ellipsoidisch gekrümmt sei, und neuerdings hat Senff [2]) durch sorgfältige Messungen am Auge lebender Menschen dieselbe Fläche auch als eine elliptische erkannt, und ebenso wie früher Herschel [3]) gefunden, dass der Scheitel der Ellipse nicht in der Sehachse, sondern einwärts von derselben liegt. Krause [4]) fand die vordere Fläche sphärisch, die hintere parabolisch gekrümmt,

---

1) Chossat, *Annales de Chimie et de Phys. X, p.* 337. — 2) Senff, R. Wagner's Hdwbch. III. p. 271. — 3) Herschel, bei Huschke, Lehre v. d. Eingeweiden. p. 669. — 4) Krause, Hdbch. d. Anat. I. p. 524.

die letztere mit einem Parameter im Mittel von 5,72. Da jedoch die an todten und zerschnittenen Augen angestellten Messungen auch bei der grösstmöglichen Sorgfalt nur unsichere Resultate geben können, da ferner selbst bei der Annahme, dass die gemessenen Theile ganz ihre natürliche Form behalten hätten, es so schwierig ist, bei diesen kleinen Gegenständen Ordinaten und Abscissen zu messen, um daraus die Krümmungen zu berechnen, dass Fehler fast unvermeidlich sind, bei der Kleinheit der Gegenstände aber kleine Fehler schon von grossem Nachtheile sind, da endlich die Annahme der sphärischen und parallelen Flächen der Hornhaut für jetzt die Einsicht in das Zustandekommen des Netzhautbildes nicht wesentlich stört, so konnten füglich diese Abweichungen der Hornhaut von der Kugelgestalt ausser Acht gelassen werden.

§. 120.

Die wässerige Feuchtigkeit, welche in den beiden Augenkammern enthalten ist, ist in Bezug auf die Lichtbrechung nach dem bei der Hornhaut Gesagten als Ergänzungsglied dieser Haut zu betrachten, sie hat aber nebenbei den wichtigen Nutzen, dass die Regenbogenhaut sich in ihr mit Leichtigkeit bewegen kann, da nur das Wasser so leicht verschiebbar ist, dass es der Iris bei ihren Bewegungen den möglichst geringen Widerstand entgegenstellt.

§. 121.

Die Krystalllinse oder Linse ist das wichtigste unter den brechenden Medien des Auges, sie verhält sich ganz so, wie auch ein unorganischer Körper von gleicher Form und innerer Structur nach den Gesetzen der physikalischen Optik sich verhalten müsste.

Die Gestalt der Linse anlangend, so besitzen wir auch hier von Krause[1]) sehr sorgfältige Messungen, deren Resultat ist, dass die vordere Fläche der Linse nach einer Ellipse, deren grosse Achse $4'''$ bis $4,\frac{1}{10}'''$, deren kleine Achse $1\frac{2}{3}$ bis $2\frac{1}{4}'''$ misst, die hintere nach einer Parabel von $3\frac{4}{5}$ bis $5'''$ Parameter gekrümmt ist.

Die Gesetze der Lichtbrechung durch convex-convexe Linsen

1) Krause, Hdbch. d. Anat. I. p. 541.

müssen wir zwar als bekannt voraussetzen, werden sie aber weiter unten bei Betrachtung des Durchganges des Lichtes durch das Auge kurz zusammenstellen und berühren hier nur das, was die Linse des Auges speciell anbetrifft: Die Linse besitzt bekanntlich einen geschichteten Bau und durch diesen wird nach Senff[1]) die lichtbrechende Kraft derselben bedeutend vermehrt. Senff hat gezeigt, dass die Kraft der geschichteten Linsen bei weitem grösser ist, als wenn sie durch und durch aus einer so stark brechenden Materie gebildet wären, als wie ihr dichterer Kern. Bei einer Ochsenlinse wurde der Brechungsexponent 1,539 gefunden, während der Brechungscoëfficient der äussern Schicht nur 1,374 und der des Kernes 1,453 war. An demselben Auge waren alle Dimensionen, Abstände und Krümmungshalbmesser genau bestimmt worden, und als nun mit Zugrundlegung jener brechenden Kraft der Linse (1,539) die Berechnung des Ganges der Lichtstrahlen ausgeführt wurde, wich der Vereinigungspunkt derselben nur um 0,1''' von der Netzhaut ab, eine Grösse, welche unter den Beobachtungsfehlern liegt.

Bekanntlich werden aber in einer Linse die parallel auftreffenden Strahlen bei ihrem Durchgange durch die Linse in der Umgebung der Achse weniger stark, als in der Nähe des Randes der Linse gebrochen, also nicht in ein scharfes Bild vereinigt, das Licht wird zerstreut, es entstehen farbige Säume. Diese Eigenschaft, welche man die sphärische Aberration nennt, muss nun in der Linse des Auges möglichst vermieden werden, dazu sind mehrere Mittel vorhanden: 1) verschiedene Krümmung der Flächen. Es hat die Krystalllinse eine vordere elliptische und eine hintere sehr convexe parabolische Fläche. Da nun eine parabolische Fläche, je näher dem Centrum, desto convexer ist, so muss dadurch auch in Bezug auf Lichtbrechung der obige Fehler vermieden oder vermindert werden, denn je convexer die Fläche, desto stärker die Brechung, also hier auch je näher dem Centrum, desto stärker die Brechung, während jener Fehler davon herrührt, dass bei Linsen mit sphärischen Flächen, je näher dem Centrum, desto geringer die

---

1) Senff, vergl. Volkmann, Hdwtb. der Phys. III. p. 289.

Brechung ist. 2) Verschiedenes Lichtbrechungsvermögen der einzelnen Linsenschichten. Diese Verschiedenheit in dem Lichtbrechungsvermögen besteht wirklich in der Krystalllinse, dasselbe kann theils von der mehr kugeligen Gestaltung der innern Schichten, theils aber auch von der eigenthümlichen Anordnung und Lagerung der kleinsten Theile der Linsenmaterie herrühren, ersteres ist durch die Anatomie als wirklich vorhanden erkannt, letzteres durch die Untersuchungen der Physiker mit dem Hohlprisma erwiesen. Das Brechungsvermögen der verschiedenen Linsenschichten verhält sich wie folgt: [1])

	Brewster.	Chossat.	Im Mittel.
Aeussere Schicht der Linse	1,3767.	1,358.	1,357.
Mittlere Schicht. . . .	1,3786.	1,395.	1,387.
Kern	1,3999.	1,420.	1,407.

Nun aber besteht die Linse nicht aus den hier angenommenen drei Schichten, sondern aus vielen Schichten, deren Brechungsvermögen allmälig, aber stetig von innen nach aussen abnimmt. Wenn also die sphärische Aberration dadurch veranlasst wird, dass das Brechungsvermögen von aussen nach innen abnimmt, so muss durch das angegebene Verhalten des Lichtbrechungsvermögens der verschiedenen Schichten der Linse jene Aberration vermindert werden. 3) Eins der wichtigsten Hülfsmittel, um die Aberration der Lichtstrahlen zu vermeiden, ist die Iris. Wie wir in unsern optischen Instrumenten, um die Randstrahlen der Linsen, selbst auf Kosten der Helligkeit, abzuhalten, in der Mitte durchbrochne Scheiben, s. g. Diaphragmata anbringen, so dient die bewegliche Regenbogenhaut, um in dem Auge die Randstrahlen abzuhalten. Es wird also durch die Krystalllinse das Licht nicht allein, wie in gewöhnlichen sphärischen Linsen, nach der Achse der Linse gebrochen, sondern auch durch die Verschiedenheit in der Wölbung beider Flächen, namentlich durch die parabolische Gestalt der hintern Fläche, durch das stärkere Brechungsvermögen des Linsen-Kernes, im Verhältniss zu den oberflächlichen Schichten der Linse und durch das Abhalten der Randstrahlen mittelst der Regenbogenhaut, die

1) Vergl. Volkmann, in Wagner's Hdwtb. III. p. 282.

sphärische Aberration der Lichtstrahlen vermieden und die Darstellung eines Bildes ohne farbige Ränder, eines achromatischen Bildes ermöglicht. Wir haben eben gesehen, welche Mittel die Natur im Auge besitzt, um die sphärische Aberration mit den farbigen Zerstreuungskreisen zu vermeiden, oder die Achromasie des Auges herzustellen. Diese Achromasie ist aber keine vollkommne, da die verschiedenen Farbenstrahlen an sich durch eine Linse verschieden gebrochen werden; unter besonderen äusseren Verhältnissen treten farbige Zerstreuungskreise ganz deutlich auf, besonders wenn Dunkelheit und Licht nahe an einander gränzen, z. B. wenn man das Fensterkreuz gegen weisse Wolken betrachtet und eine opake Platte dicht vor dem Auge bis in die Hälfte der Pupille vorschiebt, oder bei dem bekannten Scheiner'schen Versuche. Wichtig ist auch der Versuch von Frauenhofer[1]). Hat man im Gesichtsfelde des Fernrohres am Theodolit die rothe Farbe des Spectrum und ist das Ocular so gestellt, dass man den Mikrometerfaden deutlich sieht, so verschwindet letzterer, sobald man die blaue Farbe des Spectrum ins Gesichtsfeld bringt. Um ihn wieder deutlich zu sehen, muss das Ocular dem Faden viel näher gerückt werden. Während in den ersten Versuchen das Erscheinen der Farbensäume auf Zerstreuung des indifferenten, farblosen Lichtes beruht, zeigt das letztere Experiment deutlich, dass die verschiedenen Farben, wie sie verschiedene Wellenlängen, so auch verschiedenes Vereinigungsvermögen besitzen, folglich auch das Auge nie vollkommen achromatisch sein kann[2]).

§. 122.

Der Glaskörper, dessen Lichtbrechungsvermögen dem der wässerigen Feuchtigkeit sehr nahe steht, also schwächer als das der Linse ist, nach Brewster 1,3394, nach Chossat 1,339, muss demnach den aus der Linse in ihn eindringenden Strahl etwas vom Lothe ablenken, das Licht ein wenig zerstreuen. Doch darf und kann man diese Wirkung des Glaskörpers nicht einzeln betrachten, sondern die gesammten durchsichtigen Medien, die

1) Frauenhofer, Gilbert's Annalen LVI, p. 304. — 2) Vergl. Tourtual, Meckels Arch. 1830. p. 129 u. 178.

Hornhaut und wässerige Feuchtigkeit, die Linse und den Glaskörper als eine einzige vielfach zusammengesetzte Linse ansehn, deren einzelne Schichten sich in ihrem Sammel- oder Zerstreuungsvermögen in einem solchen Verhältnisse zu einander verhalten, dass ein scharfes Bild durch dieselben auf die Netzhaut geworfen wird. Freilich müssen wir auch gestehen, dass wir dieses Verhältniss noch nicht hinlänglich genau kennen.

§. 123.

Die Structur und die Lebenserscheinungen der Regenbogenhaut haben wir früher (I, p. 370 u. f.) schon kennen gelernt und dabei gefunden, dass das Wesen der Irisbewegung hauptsächlich in einer Verkürzung der Fasern, vielleicht auch in Streckung oder Schlängelung der radial verlaufenden Blutgefässe durch vermehrten oder verminderten Blutzufluss bestehe. Hier kommt es noch darauf an, die Ursache dieser Erscheinung aufzusuchen und den Einfluss der Irisbewegung auf das Sehen zu würdigen.

Um die Ursachen der Irisbewegung zu finden, müssen wir zuerst einige physiologische und pathologische Erfahrungen anführen, aus denen sich die Gesetze dieser Bewegung ableiten lassen. 1) Die Bewegung der Iris hört gewöhnlich auf bei vollständiger Lähmung des Sehnerven, bei organischen Veränderungen in den Wurzeln des Sehnerven oder in den Sehnervenhügeln. 2) Die Pupille ist starr und weit bei Druck auf das Gehirn, starr und eng bei sogenannten Reizungszuständen des Gehirns. 3) Sie ist weit bei örtlicher oder allgemeiner Wirkung gewisser narkotischer Mittel, z. B. Belladonna (Atropin), des Strychnins etc. 4) Schon Fontana hat gelehrt, dass Licht, welches nur die Iris und nicht die Netzhaut trifft, ohne Einfluss auf die Bewegung der erstern ist, dieselbe nicht zur Verengung veranlasst; die entgegengesetzte Behauptung von Brown-Séquard[1]) kann nicht von besonderm Einfluss sein, da die Erfahrungen Fontana's vielfach bestätigt sind und sich täg-

---

1) Brown-Séquard, *Comptes rendus de l'Academie de Paris. XXV. p.* 508.

lich leicht bestätigen lassen. 5) Guarini[1]) hat gefunden, dass bei Kaninchen nach Exstirpation des oberen Halsknotens des Sympathicus die Wirkung der Narkotika auf die Iris aussenbleibt, die Pupille sich also nicht erweitern kann. 6) Serafino Biffi[2]) erkannte aus seinen Untersuchungen, dass nach Reizung des obern Drittheiles des Sympathicus am Halse Erweiterung der Pupille mit bleibender Beweglichkeit erfolge, dass Reizung des oberen Halsganglion den höchsten Grad der Erweiterung, Ausschneiden dieses Ganglion dagegen sehr starke Verengerung der Pupille bewirke. Von derselben Thatsache überzeugte sich später Waller[3]); Galvanisiren des centralen Endes des am Halse durchschnittenen Sympathicus bewirkte vollständige Erweiterung der Pupille. 7) Bei Vorhandensein von Würmern im Darmkanale, also bei einem widernatürlichen Reize in dem Bereiche des Sympathicus, wird gewöhnlich krankhafte Erweiterung der Pupille bemerkt. 8) Die Stellung der Augäpfel nach einwärts, wie sie bei der Betrachtung sehr kleiner Gegenstände, die dem Auge bedeutend genähert werden, nothwendig eintritt, ist mit Verengerung der Pupille, selbst bei gleichbleibender Intensität der Beleuchtung verbunden. 9) Skuhr[4]) hat eine halbseitige Lähmung mit Amaurose und träger Pupille beobachtet, bei welcher die Lähmung, aber nicht die Amaurose gehoben wurde. So wie die Bewegung der Augenlider wieder schnell und lebhaft wurde, kehrte auch Leichtigkeit der Irisbewegung zurück. Jedes Oeffnen der Augen bewirkte Contraction der Pupille; Licht war ohne allen Einfluss.

Aus diesen Erfahrungen lassen sich folgende Sätze ableiten.

Die Bewegung der Iris unter dem Einflusse des Lichtes ist Reflexbewegung, vermittelt durch den Sehnerven, der den empfangenen Reiz auf das Centralorgan, hier auf einen bestimmten Hirntheil überträgt, von dem ihn der bewegende Nerv, d. i. hier der augenbewegende Nerv empfängt und zwar die

---

1) Guarini, Canstatt. Jahresbericht 1844. p. 208. — 2) Serafino Biffi, J. Müller's Archiv 1847. Jahresbericht. p. 159. — 3) A. Waller, Kölner Ztg. 1851 Nr. 167. *Compt. rend. de l'Ac. Sept.* 1851. — 4) Skuhr, Archiv f. physiol. Heilk. VI. p. 37.

Fasern desselben, welche direct oder indirect durch das *ganglion ciliare* zur Iris gehn und dort die Kreismuskelfasern zur Contraction bringen. (Erfahrung 1—4.) Der nöthige Antagonismus in der Bewegung der Iris oder die Erweiterung der Pupille steht unter dem Einflusse des sympathischen Nerven. Der Weg, den die Nervenströmung nimmt, ist wahrscheinlich folgender: von dem obern Halsganglion am *plexus caroticus* herauf durch die mittlere Wurzel des *ganglion ciliare*, zu diesem und von da zu der Iris selbst. Fällt nun eine dieser beiden Nervenströmungen (durch das dritte Paar und durch den Sympathicus) zur Iris weg, so muss die andere das Uebergewicht erhalten; so bei Druck auf das Gehirn, Amaurose, vielleicht auch bei der Einwirkung der Narkotika fehlt der Einfluss des dritten Paares, der Sympathicus erhält das Uebergewicht, die Pupille wird sehr weit; wird dagegen die Innervation des Sympathicus weggenommen (Exstirpation des obern Halsganglion), so müssen die Fasern des *oculomotorius* das Uebergewicht erhalten, es erfolgt die stärkste Verengerung der Pupille. Reizungszustände des Gehirns sind mit verengerter Pupille, Reizung des obersten Halsknoten mit erweiterter Pupille verbunden. (Erfahrung 3 u. 6.) Für die Mitwirkung des Sympathicus bei der Bewegung der Pupille spricht ferner das Schwankende in dieser Bewegung, die relative Langsamkeit, mit der sie erfolgt. Sie ist langsamer, als die Bewegung der Augenmuskeln, welche noch nicht die schnellste ist, denn wenn man rasch abwechselnd von einem hellen auf einen dunklen Gegenstand blickt, so wird die Bewegung der Iris unordentlich und es kann sich treffen, dass beim Blick auf das Helle die Pupille erweitert ist (Volkmann).

Nach den angeführten Erfahrungen wäre sonach die Irisbewegung Reflexbewegung, sobald sie nach Einwirkung des Lichtes erfolgt, jedoch die Erfahrungen unter 8 und 9 lehren, dass die Irisbewegung ganz bestimmt mit der Bewegung der Augenmuskeln associirt ist. Der innere Grund dieser Association, die Ursache, welche die gleichzeitige Innervation nach den Augenmuskeln und den contractilen Elementen der Iris bestimmt, ist uns noch gänzlich unbekannt.

Der Nutzen der Irisbewegung für das Sehen ist, wie

aus dem Erörterten hervorgeht, ein sehr wesentlicher. Denn erstens wird durch dieselbe die Menge des in das Auge zur Netzhaut dringenden Lichtes regulirt, indem bei zu intensiver Beleuchtung die Pupille sich verengert, und so die coulissenartig vorgeschobene Iris einen Theil der Lichtstrahlen von der Netzhaut abhält, in der Dunkelheit dagegen dieselbe sich erweitert, um möglichst viel Lichtstrahlen der Netzhaut zukommen zu lassen. Zweitens, da nach physikalischen Gesetzen der Vereinigungspunkt der in der Nähe der Achse durch die Linse gehenden Lichtstrahlen weiter nach hinten fällt, als der Vereinigungs- oder Brennpunkt der durch die Randparthieen der Linse gehenden Strahlen, so werden durch die Iris eben diese Randstrahlen, welche, wenn der Brennpunkt der Achsenstrahlen gerade in die Ebene der Netzhaut fällt, auf dieser Zerstreuungskreise bilden würden, ganz von der Linse abgehalten und zwar um so mehr, je heller die Beleuchtung und je kleiner der zu betrachtende Gegenstand ist.

§. 124.

Die Netzhaut, der ohnstreitig das Licht empfindende Theil des Augapfels, muss eben durch das auf seiner Fläche sich darstellende Bildchen des äusseren Objects verändert werden, und zwar in einer der Helligkeit oder Dunkelheit und den Farben des Objects entsprechenden Weise, welche Veränderungen durch den Sehnerven auf das Gehirn übertragen werden. So einfach dieser Satz ist, so stossen wir doch bei genauerer Betrachtung der Verhältnisse auf unüberwindliche Schwierigkeiten und müssen bekennen, dass wir noch heute, trotz der weitgediehenen Erforschung der optischen Gesetze des Sehorgans, trotz der vortrefflichen Beiträge, welche die Histologie der Netzhaut erhalten hat, trotz der gewichtigen Entdeckungen in der Nervenphysik, noch nicht im Stande sind, den Vorgang der Lichtempfindung durch die Netzhaut mit einiger Bestimmtheit zu eruiren, die Betheiligung ihrer einzelnen Elemente dabei festzustellen. Wir wissen noch nicht einmal, welches anatomische Element des Gewebscomplexes, der die Retina darstellt, das eigentliche peripherische Aufnahmeorgan des Licht-

eindruckes ist, geschweige denn, dass wir die Art der Veränderung, in welche dasselbe durch die Lichtwellen versetzt wird, die Art der Mittheilung und Fortpflanzung dieser Veränderung auf die Leitapparate und durch diese zum Gehirn angeben könnten.

Die Faserschicht der Netzhaut, auf welche es hier zunächst ankommt, welche man bis jetzt allgemein als den lichtempfindenden Theil betrachtete, wird dadurch gebildet, dass von einem Centrum, dem Colliculus, die Sehnervenfasern strahlenartig nach der Peripherie, d. h. nach der *ora serrata* hin, verlaufen; folglich müssen die Fasern in der Nähe des Colliculus, ehe sie sich ausbreiten, ehe sie den grössten Umfang des Glaskörpers erreicht haben, in mehreren Schichten über einander liegen, wodurch die Nothwendigkeit eintritt, dass bei der vollkommnen Durchsichtigkeit der Nervencylinder, in der Nähe des Eintritts des Sehnerven von jedem Lichtstrahl mehrere über einander liegende Nervencylinder getroffen werden, dadurch aber eine Verwirrung der Eindrücke bewirkt werden muss. Ferner widerspricht die unregelmässige Zusammenlagerung der Fasern zu Bündeln und deren unregelmässige Kreuzung in Form eines spitzmaschigen Netzes dem Begriff, den wir uns nothwendig von der relativen Lage der einzelnen empfindenden Punkte der Netzhaut machen müssen. Wir können aus der nachweisbaren Entfernung der Netzhautbilder zweier nahe zusammenliegender Punkte, die eben noch als räumlich getrennt empfunden werden, mit Bestimmtheit die relative Entfernung der einzelnen Punkte an den verschiedenen Stellen der Netzhaut berechnen, finden aber in der anatomischen Anordnung der Sehnervenfasern in der Faserschicht nicht eine leise Andeutung der berechneten Verhältnisse. Ferner hat man bis jetzt in der ganzen Netzhaut noch keine Endigungen der Nervencylinder kennen gelernt, vielmehr gehen sie alle der Oberfläche parallel nach der Peripherie hin, wenden also der Pupille oder der Aussenwelt den grössten Theil ihres Verlaufes zu, die Folge davon muss sein, dass derselbe Nervenfaden mehrere Eindrücke auf einmal erhält, die Vereinigungspunkte mehrerer verschiedener leuchtender Punkte eines äusseren Objectes ihn

gleichzeitig treffen. Denken wir uns eine mit radial von einem Centrum auslaufenden Linien versehene Silberplatte und fangen mit derselben ein Lichtbild auf, so wird eine und dieselbe Linie von mehreren Theilen des Bildes getroffen werden. Nun haben wir aber als Gesetz für die Sinneswahrnehmung überhaupt das Zerfallen des Empfindungsnerven an der Peripherie in seine Primitivelemente und deren Endigung an der zur Mittheilung des specifischen Sinneseindrucks geeigneten Vorbauen hingestellt. Wir haben gesehn, dass eine Nervenfaser, in ihrem Verlauf von einem entsprechenden Eindruck getroffen, keine klare Empfindung desselben zum Bewusstsein bringt, am wenigsten aber, wenn sie gleichzeitig an verschiedenen Stellen ihres Verlaufes von gesonderten Eindrücken getroffen wird, eine gesonderte Wahrnehmung derselben vermitteln kann. Wir haben z. B. bei den Tastnerven gesehen, dass die Enden einer und derselben Primitivfaser stets nur einen einfachen Eindruck zur Empfindung bringen, dass zur gesonderten Empfindung zweier räumlich getrennten Tasteindrücke deren Einwirkung auf die Enden zweier verschiedener Primitivfasern nothwendig erforderlich ist. Wir haben nicht den geringsten Grund, eine Ungültigkeit dieser Sätze beim Gesichtssinn zu vermuthen, müssen im Gegentheil im Auge noch weit mehr, als in jedem andern Sinnesorgan Apparate zur gesonderten räumlichen Empfindung, Enden des Sinnesnerven an der Peripherie, welche als Empfindungsindividuen fungiren, suchen, können dieselben aber aus den erörterten Gründen unmöglich in den Elementen der eigentlichen Faserschicht der Retina finden. Schon die einfache Thatsache, dass die Eintrittsstelle des Sehnerven, wo doch die Fasern jener Schicht am dichtesten liegen, so unempfindlich ist, wie wir sehen werden, weist am entschiedensten die Annahme zurück, dass in der Flächenausbreitung der Sehnervenfasern in der fraglichen Schicht die Aufnahme der Lichteindrücke vor sich gehe. Betrachten wir die übrigen Schichten der Retina, und fragen, welche Elemente derselben wohl jene Aufnahmeorgane und Empfindungsindividuen repräsentiren mögen, so drängen sich uns, wie wir bereits bei der histologischen Erörterung andeuteten, fast von selbst die stabförmigen Körper und Zapfen

der Jacob'schen Haut auf. Ihre Form, Grösse und Anordnung, das Zusammentreffen dieser Verhältnisse mit der berechneten Grösse und relativen Lage der empfindenden Punkte, der Umstand, dass sie da am dichtesten gedrängt stehen, wo die feinste Empfindung ist, dass sie senkrecht auf der empfindenden Oberfläche stehen, noch mehr aber die neuerdings durch H. Müller und Koelliker nachgewiesene Fortsetzung dieser Körper durch die inneren Schichten der Retina bis an deren Oberfläche und der wenigstens wahrscheinlich gemachte Zusammenhang dieser ihrer Fortsätze mit den Sehnervenfasern der Faserschicht, erheben die Hypothese zur hohen Wahrscheinlichkeit, dass diese Körper die Perceptionsorgane der Gesichtsempfindung sind, dass sie die empfangenen Eindrücke den Fasern der Faserschicht übergeben und diese nur als Conductoren zu betrachten sind. Wir wiederholen, dass diese Annahme freilich bis jetzt nur Hypothese ist, aber eine Hypothese, die weit mehr physikalische und physiologische Gründe für sich hat, als die alte Auffassung der Faserschicht als Empfindungsorgan. Wie die fraglichen Körper einen Lichteindruck aufnehmen, wie sie ihn verarbeiten, und den Sehnervenfasern übergeben, wie sich die einfachen Stäbchen zu den Zapfen verhalten, welche Function den Körnern der Körnerschicht, mit denen sie erwiesener Maassen verbunden sind, die in den Verlauf ihrer inneren Fortsätze eingefügt sind, obliegt, das sind alles noch offene Fragen, deren Beantwortung zum Theil wohl noch in weiter Ferne liegt, wie die Fragen der Nervenphysik überhaupt, mit denen sie in nächstem Zusammenhange stehen. Jedenfalls scheint uns auch die eben erörterte Deutung der Elemente der Jacob'schen Haut weit mehr für sich zu haben, als ihre von Brücke[1]) gegebene Interpretation, welcher sie als katoptrische Apparate darzustellen sich bemühte. Er sucht ihren Nutzen darin, dass sie bestimmt seien, dasselbe Licht, welches die Netzhaut (die Faserschicht) schon einmal passirt ist, durch Reflex noch einmal auf sie zurückzuwerfen, um dadurch „die ohne einen solchen Apparat durchaus unvermeidliche Verwirrung der

1) Brücke, J. Müller's Arch. 1844. p. 444.

Lichteindrücke zu vermeiden". Dass, wenn die Fasern der Faserschicht die empfindenden Elemente wären, eine Verwirrung der Lichteindrücke unvermeidlich wäre, geben wir Brücke gern zu, und sprechen uns eben wegen dieser nothwendigen Verwirrung gegen eine solche Function der Faserschicht aus. Wie aber eine Zurückwerfung der Lichtstrahlen durch Spiegelung, das doppelte Passiren eines Lichtstrahles durch die vermeintlichen Empfindungsorgane jene Verwirrung aufheben und nicht vielmehr noch bedeutend vermehren soll, ist uns trotz Brücke's Auseinandersetzungen durchaus nicht klar. Ausserdem macht schon ihre histologische Structur, besonders wie sie sich nach den neueren Forschungen herausgestellt hat, eine katoptrische Wirkung dieser Elemente mehr als unwahrscheinlich, am unwahrscheinlichsten aber das Reflectiren der sie treffenden Strahlen auf bestimmte Parthieen der Sehnervenfasern. Wir haben oben pag. 494 gesehen, dass die eigentlichen Stäbchen und Zapfen nicht, wie man früher glaubte, nach innen rund endigen, sondern zugespitzt in einen dünnen Faden, übergehen, dass im Verlauf jedes dieser Fäden ein Korn der Körnerschicht, dessen Structur ein regelmässiges Hin- und Zurückpassiren von Strahlen fast unmöglich macht, eingefügt ist, dass diese Faden durch die Faserschicht durchgehen, bis an die innere Glashaut dringen, daselbst in kleine dreiseitige Pyramiden übergehen und grösstentheils an der Peripherie umbiegen, um sich in der Faserschicht anscheinend zu verlieren, oder, wie sich vermuthen lässt, in Sehnervenfasern überzugehen. Hätte Brücke schon damals diese Structur der fraglichen Elemente gekannt, so würde es diesem ausgezeichneten Physiologen gewiss auch nicht in den Sinn gekommen sein, sie als Spiegelapparate zu betrachten. Wir werden im Gegentheil sogleich bei Betrachtung der Chorioidea sehen, dass die Stäbchen mit ihren äusseren Enden auf den schwarzen Pigmentzellen ruhen, damit das durch sie hindurchgegangene Licht absorbirt und dessen störende Reflexion vermieden werde.

§. 125.

Die Chorioidea, fast ganz aus Gefässen bestehend und auf ihrer inneren Fläche mit schwarzen Pigmentzellen belegt, hat

wohl hauptsächlich den Zweck, durch dieses Pigment einen Apparat darzustellen, welcher das durch die Netzhaut und die Stäbchenschicht gedrungene Licht sogleich absorbirt. Die Pigmentzellen stehn, wie früher schon erwähnt, mit den Stäbchen der Jacob'schen Haut im innigsten Verhältnisse und auch dieses dürfte am besten auf diese Function hindeuten, die wiederholte Einwirkung der Lichtstrahlen auf die empfindenden Elemente der Retina zu vermeiden. Die wahrscheinliche Function der Stäbchen haben wir darzustellen uns eben bemüht. Das Pigment des Auges ist aber nicht allein seiner schwarzen Farbe wegen, sondern auch der Kleinheit der fast unmessbaren Pigmentmolecüle ganz besonders geeignet, das bis zu ihm dringende Licht zu absorbiren. Eine ebene Fläche, sei sie auch noch so schwarz, reflectirt noch eine Menge Licht und zwar um so mehr, je ebener und glatter dieselbe ist; um nun auch diesen Reflex zu vermeiden, ist an einzelnen Pigmentzellen die äussere Hülle nicht vorhanden, so dass diese sogenannten Zellen in Wirklichkeit nur Häufchen, oder Klümpchen von unter sich zusammenklebenden Pigmentmolecülen sind. Das Pigment an der Uvea und dem Faltenkranze muss das Licht absorbiren, welches von der Fläche der *membrana limitans* zurückgeworfen wird. Ausserdem dient die Chorioidea ohnstreitig als Trägerin der Nerven und Gefässe, welche der Ernährung und physiologischen Function der vorderen durchsichtigen und blendenden Apparate des Auges bestimmt sind.

Man findet bisweilen Menschen, denen das schwarze Pigment im ganzen Körper, also auch im Auge fehlt, sie haben daher eigenthümlich weisse Haare, sogenannte rothe Augen etc., sie werden Albinos, Kakerlaken genannt. Da sie eben wegen dieses Mangels an Pigment im Auge leicht geblendet werden, d. h., wegen Lichtreflex im Auge die Eindrücke auf der Netzhaut sich verwirren, so vermeiden sie helles Licht und öffnen die Augen sehr wenig. Auch unter den Thieren kommen solche Albinos vor, wie die weissen Kaninchen, weissen Mäuse, seltener die Isabellen bei den Pferden, die weissen Sperlinge etc.

§. 126.

Der Ciliarkörper oder Faltenkranz ist ein häutiger, sehr gefässreicher Ring, der mit seinem äussern Rande fest an dem Ciliarbande befestigt ist, mit seinem innern Rande dagegen

durch den *annulus capsulo-ciliaris* mit der vordern Wand der Linsenkapsel zusammenhängt. Da über die Function dieses Theiles directe Versuche nicht angestellt werden können, so muss man suchen aus der Structur und Verbindung desselben Wahrscheinlichkeitsschlüsse zu ziehen. Die Structur ist so ausserordentlich gefässreich, dass man geglaubt hat, eine stärkere oder schwächere Anfüllung der Gefässe könne auch eine Ausdehnung oder Zusammenziehung zur Folge haben. Die Anheftung am Ciliarbande scheint fest und unbeweglich zu sein, wie der Ciliarrand der Iris, folglich könne sich eine solche Gestaltveränderung nur an dem freien Rande, welcher der Pupille der Iris entspricht, aussprechen und vielleicht durch den *annulus capsulo-ciliaris* auf die Stellung der Linse wirken. Wir werden unten das Unhaltbare dieser Hypothese nachweisen.

§. 127.

Die Sclerotica oder weisse, feste Augenhaut ist eine feste sehnige Kapsel, welche den übrigen sehr weichen Theilen des Augapfels eine festere Form und sichern Schutz giebt. Durch die vordere grössere Oeffnung, in welche die Hornhaut eingefügt ist, dringt das Licht, durch die hintere kleinere Oeffnung der Sehnerv ein. Ausserdem gewährt sie den Augenmuskeln einen zweckmässigen Raum und ein passendes Gewebe zur Anlage. Dass diese Augenmuskeln, da die Sclerotica vorn und hinten weit dicker ist, als an ihrem äussern Umfange, folglich an letzterm leicht biegsam, zugleich auch die Form des Augapfels ändern, namentlich auf die Verkürzung der geraden Achse desselben wirken können, ist früher zwar angenommen worden, scheint durch neuere Beobachtungen aber widerlegt zu werden (vgl. Accomodation des Auges), auch fehlt dem Augapfel hinten der Stützpunkt, an den er sich nothwendig anlehnen müsste, wenn die angedeutete Wirkung der Augenmuskeln erfolgen sollte. Dasselbe gilt von einer anderen Formveränderung des Bulbus, die man als nothwendige Folge der Contraction der vier geraden Augenmuskeln betrachtet hat. Es giebt noch heutzutage Physiologen und Ophthalmologen, welche die Accomodation dadurch zu Stande kommen lassen, wie wir

sehen werden, dass die von hinten sich bogenförmig um den Bulbus über dessen Mitte hinaus sich herumschlagenden Muskeln bei der Contraction durch Abflachung der Bogen, die sie bilden, den Bulbus an der Mitte seiner seitlichen Peripherie zusammendrücken und so ihn länglich machen, seine Längsachse verlängern, den hintern Schirm der Netzhaut weiter von der Linse zurückschieben. Wir werden unten die Gründe, warum uns auch diese Wirkung der Augenmuskeln nicht annehmbar dünkt, auseinandersetzen. Wir glauben an keine andere Bestimmung der Augenmuskeln, als an die, die Stellung des Augapfels, die Richtung seiner Achse zu verändern.

§. 128.

Dioptrik des Auges.

Da sich die dioptrischen Medien des Auges wie Sammellinsen zu dem durchgehenden Licht verhalten, so müssen wir hier ganz kurz der einschlagenden Gesetze aus der physikalischen Optik gedenken.

1) Alles Licht, welches aus einem dünneren Medium in ein dichteres übertritt, wird an der Gränze des Ueberganges gegen das Einfallsloth gebrochen; beim Uebergange aus einem dichteren Medium in ein dünneres von dem Einfallslothe abgelenkt.

2) Dieser Satz, auf das Prisma angewendet, lehrt Folgendes: (Tab. IV. Fig. 1.) der das Glasprisma treffende Strahl a b wird beim Eintritt in dasselbe gegen das Loth c d gebrochen, geht dann geradlinig durch dasselbe durch und wird beim Austritt aus dem Glase in die Luft vom Lothe d e abgelenkt und geht von f nach g.

3) Eine convex-convexe Linse oder Sammellinse ist als ein System von Prismen zu betrachten und es gelten von ihr dieselben Gesetze.

4) Die eine convex-convexe Linse aus unendlicher Ferne, also parallel treffenden Strahlen, (Tab. III. Fig. aaaa.) werden hinter der Linse in einem Punkte, dem Hauptbrennpunkte b vereinigt.

5) Drehen wir die Figur um und nehmen an, das Licht gehe von diesem Brennpunkte b aus gegen die Linse, so werden die Strahlen so gebrochen, dass sie auf der andern Seite parallel mit der Achse fortgehen, sich also nie vereinigen.

6) Geht das Licht von einem Punkte c aus, der zwischen der unendlichen Ferne und dem Brennpunkte liegt, so werden die Strahlen hinter der Linse (in d) zwar vereinigt, aber um so weiter von ihr, je näher der leuchtende Punkt vor der Linse ist.

7) Liegt der leuchtende Punkt der Linse näher als der Brennpunkt, so gehen hinter der Linse die gebrochenen Strahlen nicht der Linsenachse parallel, sondern divergirend weiter.

8) Bis jetzt haben wir immer angenommen, dass der leuchtende Punkt und der Brennpunkt in und auf der Achse der Linse lägen; die Sache verhält sich aber auch ganz ähnlich, wenn der leuchtende Punkt nicht auf der Achse, sondern neben oder über ihr liegt. Eine von diesem Punkte durch den Mittelpunkt der Linse gezogene Linie wird dann Nebenachse, secundäre Achse (Tab. III. Fig. b^b cc′ u. dd′) und jene a b Linsenachse Hauptachse genannt. Der eine Endpunkt der Nebenachse muss dann über, der andere unter, oder der eine rechts, der andere links von der Hauptachse liegen.

9) Wird in der Ebene des Brennpunktes einer Linse ein Schirm angebracht und das so gebrochne Licht aufgefangen, so muss, nach vorgehendem Satze, das so erhaltene Bild stets ein verkehrtes sein (c′ d′).

10) In Erzeugung der Bilder gelten auch die unter 3—6 angeführten Sätze. Liegt der Gegenstand in unendlicher Entfernung vor der Linse, so erscheint das Bild im Brennpunkte hinter der Linse, liegt er näher, so entfernt sich das Bild von der Linse, und liegt er im Brennpunkte selbst, so kann kein Bild entstehn, weil sich die Strahlen nicht vereinigen.

§. 129.

Wenden wir nun diese Sätze der Physik, deren weitere Begründung in den Lehrbüchern dieser Wissenschaft gesucht

werden muss, auf den Durchgang des Lichtes durch das Auge bis zur Netzhaut an, so verhalten sich Hornhaut mit wässeriger Feuchtigkeit und Krystalllinse, wie eine geschichtete Linse, deren vorderer Brennpunkt etwa um den halben Durchmesser des Auges vor der Hornhaut, der hintere bei parallel einfallenden Strahlen und bei für unendliche Entfernung eingerichtetem Auge auf der Netzhaut liegt. Die stärkste Brechung erfährt das Licht beim Uebergange aus der Luft in die Hornhaut (Tab. IV. Fig. 2.) b u. b′ da die Dichtigkeitsdifferenz zwischen beiden bedeutend ist, (Brechungsexponent der Hornhaut 1,33). Aus der Hornhaut tritt der Strahl in die wässerige Feuchtigkeit c, welche fast gleichen Brechungsexponenten (1,338) mit der Hornhaut hat, folglich geht der Lichtstrahl in der angenommenen Richtung fort und gelangt bei d auf die Linse, deren Brechungsexponent im Ganzen nach Senff 1,539 ist, also von dem der wässerigen Feuchtigkeit, um 0,201 verschieden, folglich muss auch hier wieder der Strahl eine merkliche Ablenkung gegen das Loth erfahren; derselbe geht dann durch die Linsensubstanz durch, um beim Uebertritt aus dieser e e in den etwas dünneren Glaskörper wieder eine geringe Ablenkung von dem Lothe zu erleiden und dann in der angenommenen Richtung gerade durch den Glaskörper zur Netzhaut zu gehen und dort mit den übrigen Strahlen ein verkehrtes verkleinertes Bild f f′ darzustellen.

Auf diesem Wege müssen sich die von verschiedenen Punkten eines gesehenen Objects ausgehenden Strahlen an irgend einer Stelle g′ des Auges kreuzen, man nennt dieselbe den Kreuzungspunkt und er liegt nach Volkmann, Listing u. A. nahe hinter der Linse. Der Winkel, den die sich kreuzenden Achsen-Strahlen auf diese Weise darstellen a g a f, nennt man den Sehwinkel. Derselbe muss bei kleinen oder sehr entfernten Gegenständen klein, bei grössern und nähern Gegenständen grösser sein. Er wächst mit der Annäherung an das Auge und der Grösse der Objecte.

In neuerer Zeit hat Listing[1]) eine Methode angegeben,

1) Listing, Beiträge zur physiologischen Optik. Göttingen 1845. Auch in den Göttinger Studien 1845.

um den Gang der Lichtstrahlen durch das Auge zu bestimmen, deren Verständniss für den Anfänger durch die eben vorangehende Betrachtung sehr erleichtert wird.

Listing stellt sich das Auge als ein System verschieden stark brechender Mittel vor, welche durch sphärische Flächen begränzt und von einander getrennt sind, deren Krümmungsmittelpunkte auf einer ebenen Linie, (Tab. IV. Fig. 3. F L) der Augenachse liegen. Der vordere Brennpunkt (F) dieses Linsensystems liegt etwa um den halben Durchmesser des Auges vor der Hornhaut; der hintere (L) bei der Einrichtung des Auges für paralleles Licht in der Netzhaut. Durch diese beiden Punkte werden Ebenen gelegt, welche zur Achse des Auges normal sich verhalten und vordere und hintere Brennpunktsebene, Focalebene, genannt werden. (Tab. IV. Fig. 4. F u. F'.)

Ausser diesen beiden Brennpunkten und ihren Ebenen kommen noch vier andere Punkte des Auges in Betracht, erstens die von Gauss s. g. Hauptpunkte und ihre mit den Focalebenen parallel liegenden Hauptpunktsebenen (E E'). Diese Punkte liegen in der vordern Augenkammer, sind nur um wenige Zehntheile eines Millimeters von einander entfernt und stehen in einem für paralleles Licht eingerichteten Auge von dem vordern Brennpunkte etwa um $\frac{2}{8}$, von dem hintern Brennpunkte etwa um $\frac{7}{8}$ des Augendurchmessers ab.

Die beiden andern Punkte, die Knotenpunkte der Richtungslinien (K K') liegen auf der Achse des Auges, sind eben so weit von einander entfernt, als die Hauptpunkte unter sich es sind, und zu den Brennpunkten verhalten sie sich verkehrt wie die Hauptpunkte, d. h. sie sind von dem hintern Brennpunkte eben so weit entfernt, als die Hauptpunkte von dem vordern Brennpunkte. Diese beiden Knotenpunkte fallen dicht an die hintere Fläche der Linse, wahrscheinlich häufiger vor, als hinter dieselbe.

Die Anwendung dieser Ebenen und Punkte um den Gang eines Strahles durch den Glaskörper zu finden ist nun folgende.

Nach Satz 4 und 5 (oben) werden Strahlen, welche unter sich parallel in das Auge dringen, also aus unendlicher Ferne kommen, oder wenig gegen dieselbe geneigt sind, in einem Punkt

der hintern Focalebene vereinigt werden, dagegen Strahlen, welche aus einem Punkte der vordern Focalebene nach dreimal erlittener Brechung parallel durch den Glaskörper gehn müssen, in keinem Punkte der hintern Focalebene vereinigt werden.

Durch die vordere Brennpunktsebene trete bei Fig. 1, (Tab. III. Fig. 7.) ein Strahl ein, dieser geht in der Richtung nach (2) und trifft dort die vordere Hauptebene, geht dann parallel mit der Achse bis zur zweiten Hauptebene bei (3). Um den weitern Weg zu finden, ziehe man von dem zweiten Knotenpunkte K eine mit (1) (2) parallele Linie zur hintern Focalebene und wo sie dieselbe schneidet (4), ist der Punkt des Bildes auf der Netzhaut und den Weg des Strahles durch den Glaskörper bezeichnet eine von 3 nach 4 gezogene Linie. Ohne Benutzung des Knotenpunktes findet man den Punkt 4 auch durch eine Linie, die von der Kreuzungsstelle der vordern Focalebene mit der Augenachse F parallel mit (1) (2) bis zur vordern Hauptebene (5) und dann parallel mit der Achse bis zu (4) gezogen wird.

Dränge ein Strahl (Tab. IV. Fig. 4. D) gerade in der Richtung auf und bis zum vordern Knotenpunkte K ein, so würde er nicht in dieser Richtung fortgehn, sondern um die Abstände der beiden Knotenpunkte auf der Achse verrückt werden (K K′) und dann von dem hintern Knotenpunkte parallel der frühern Richtung bis zur hintern Focalebene D′ fortgehn. Der erste Theil dieses ganzen Weges D K von der vordern zur hintern Focalebene ist die erste, der zweite Theil K′ D′ die zweite Richtungslinie. Parallele Strahlen würden in einem dafür eingerichteten Auge den in Fig. 4. vorgezeichneten Weg gehn und das Bild auf der Durchgangsstelle der zweiten Richtungslinie durch die hintere Focalebene, d. i. die Netzhaut entstehn.

Liegt der leuchtende Punkt P in endlicher Entfernung von der vordern Focalebene (Tab. IV. Fig. 6., so convergiren die ausfahrenden Strahlen gegen einen hinter der hintern Focalebene gelegenen Punkt P der zweiten Richtungslinie, den man findet, wenn man die oben in Fig. 4. angegebene Construction auf einen mit der ersten Richtungslinie (P K) nicht parallelen Strahl anwendet. Liegt die Lichtquelle ausserhalb der Augen-

achse, so verbinde man P mit F durch eine gerade Linie, verlängere diese bis zur vordern Hauptebene nach (5) und ziehe parallel der Achse durch (5) eine gerade Linie, so ist der Durchschnittspunkt P′ dieser letzteren mit der zweiten Richtungslinie das reelle Bild von P. Liegt aber der strahlende Punkt in der Augenachse, so ziehe man (Fig. 5.) einen zur Achse geneigten Strahl P (2), bestimme nach der in Fig. 4. gegebenen Vorschrift den ausfahrenden Strahl (3) (4), so wird der Durchschnittspunkt P desselben mit der Achse, mit welcher nunmehr beide Richtungslinien zusammenfallen, das gesuchte Bild sein. Ist F. P′ die grösste Entfernung, in welche durch Accommodation die hintere Brennpunktsebene vor die Retina gesetzt werden kann, so ist die Entfernung des Punktes P vom Auge die kleinste, in der das Auge deutlich zu sehen vermag. Bei geringerer Entfernung des Punktes P fällt also für jeden möglichen Refractionszustand des Auges das Bild hinter die Netzhaut, und der Punkt P hört auf deutlich zu erscheinen. Eine solche Gränze für die Annäherung des Punktes P während des Deutlichsehens findet für jedes Auge statt, sie scheint auch bei sehr kurzsichtigen Augen nicht unter 5 Centimeter, bis zur vordern Fläche der Hornhaut gerechnet, zu betragen.

§. 130.

Bei dem so beschriebenen Gange der Lichtstrahlen durch die brechenden Medien des Auges muss in dem Hintergrunde des letzteren ein Bild, das Netzhautbild des gesehenen Objectes entstehen, dasselbe muss aber klein und verkehrt sein.

Klein, vergl. Tab. IV. Fig. 2., muss das Netzhautbild sein, weil in der Regel die Nebenachsen der Lichtstrahlen a g f hinter dem Kreuzungspunkte (g) nicht so weit divergiren, als die Entfernung ihrer Ursprünge am Objecte beträgt, da nach Fig. 6, Tab. III. die Lichtbündel d e e′ und c f d′ eher wieder vereinigt werden und zwar bei parallelen Strahlen und dafür accommodirtem Auge auf dem hintern Brennpunkte oder auf der Netzhaut, bei Objecten zwischen dem vordern Brennpunkt des Auges und unendlicher Entfernung hinter dem hintern Brennpunkte und

zwar um so weiter hinter diesem, je näher der Gegenstand dem Auge ist.

Verkehrt muss das Bildchen auf der Netzhaut sein, wegen der Kreuzung der Nebenachsen, welche von der Peripherie der Objecte ausgehen. Durch den Augenschein kann man sich von der Wahrheit des Gesagten an den ausgeschnittenen und reinpräparirten Augen eines weissen Kaninchens überzeugen, an denen man der Durchsichtigkeit der Häute wegen das auf der Netzhaut vorhandene Bild der Aussenwelt sehr leicht wahrnimmt. Auch an jedem Rinds- oder Schweinsauge kann man das Netzhautbildchen sehen, wenn man in der Nähe der Cornea ein Loch durch die Sclerotica und Chorioidea schneidet, um durch den Glaskörper die hintere Parthie der Retina sehen zu können. Ja nach Volkmann's [1]) Beobachtungen kann man sogar unter Umständen ohne Instrument an Augen von lebenden Menschen das kleine verkehrte Netzhautbild einer Kerzenflamme durch die äusseren Augenhäute hindurchsehen.

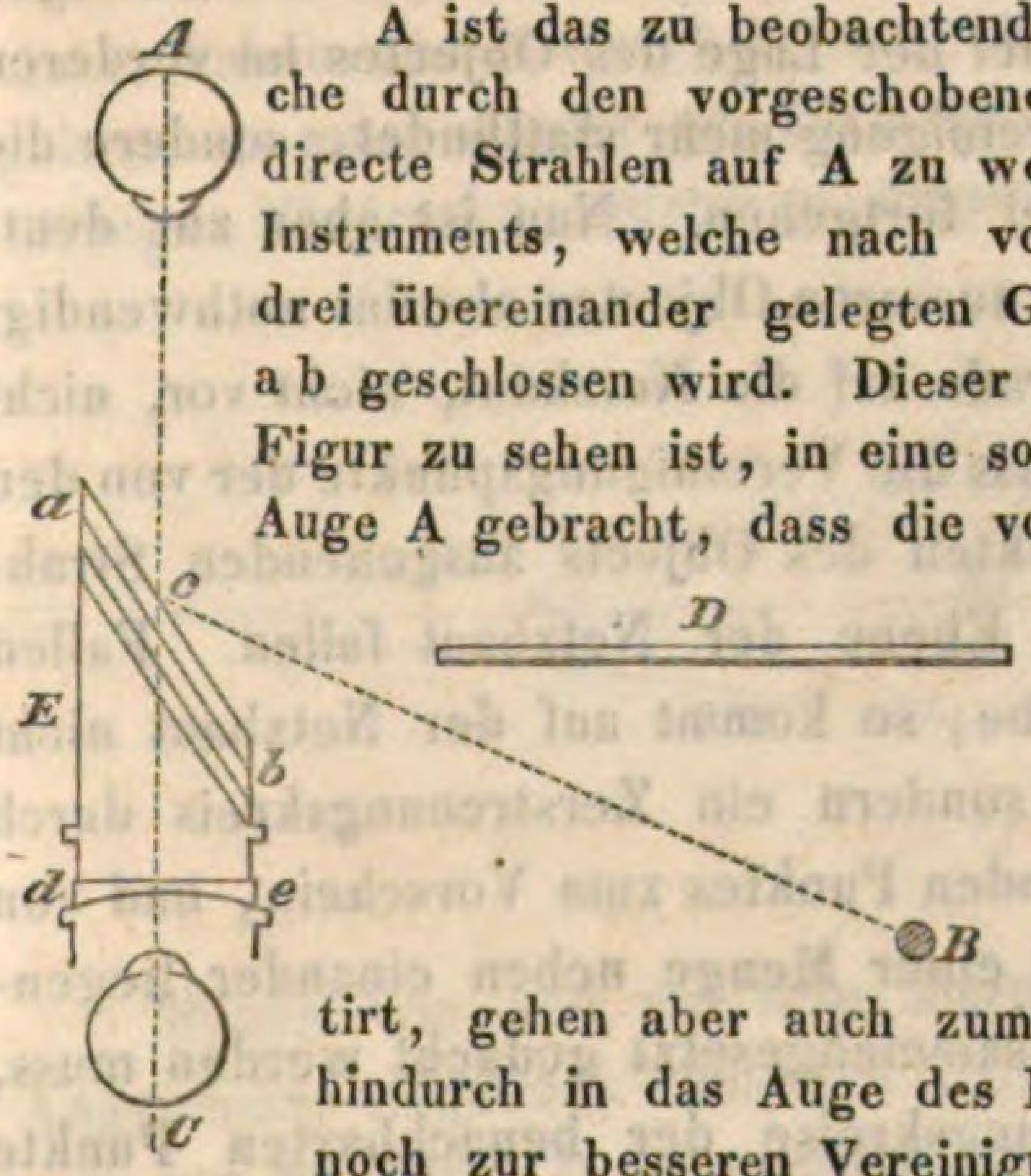
Lässt man eine Person mit etwas vorspringenden Augen, deren Sclerotica (besonders bei blonden Leuten) etwas durchscheinender ist und daher etwas bläulich schimmert, das Auge möglichst stark nach aussen wenden, und bringt wiederum nach aussen eine Lichtflamme an, so sieht man in der Gegend des inneren Augenwinkels mehr oder weniger deutlich und scharf begränzt das umgekehrte Flammenbild durch die Sclerotica durchschimmern.

Das vortrefflichste Mittel aber, die Beschaffenheit des Netzhautbildes zu studiren, ist das neuerdings von Helmholtz [2]) unter dem Namen: „Augenspiegel“ angegebene Instrument, durch welches man nicht allein das in Rede stehende Bild mit der vollkommensten Schärfe, das Entstehen von Zerstreuungskreisen, wenn das Bild nicht genau in die Ebene der Netzhaut fällt, das Auge also auf andere Entfernungen als die des leuchtenden Körpers accommodirt ist, erblickt, sondern auch die nicht vom Bild eingenommenen Parthieen der Netzhaut, ihre Gefässe u. s. w. hell beleuchtet erkennt.

---

1) Volkmann, Wagner's Hdw. der Phys. III. p. 286. — 2) Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge. Berlin 1851.

In Rücksicht auf die physiologische und pathologische Wichtigkeit dieses trefflichen Instrumentes und die von seiner weiteren Anwendung mit Recht zu hoffende Ausbeute, geben wir eine kurze Beschreibung der Principien, auf denen es beruht, seiner Structur und Anwendung. Es kam lediglich darauf an, das zu beobachtende Auge innerlich so zu beleuchten, dass es auch dem Auge des Beobachters beleuchtet erscheint, d. h. so, dass ein Theil der Strahlen, welche nach physikalischen Gesetzen vom Auge auf demselbem Wege, auf dem sie gekommen sind, zurückgeworfen, also in der Lichtquelle, von der sie ausgegangen, wieder vereinigt werden, in das Auge des Beobachters fällt. Da von unserem Auge keine Lichtstrahlen in das einer anderen Person dringen, können auch aus diesem ohne Hülfsmittel nie Lichtstrahlen in unser Auge zurückfallen, wir folglich das Innere desselben nie beleuchtet sehen. Dies wird aber erreicht durch folgenden einfachen Apparat, in dem der Helmholtz'sche Spiegel im Wesentlichen besteht.



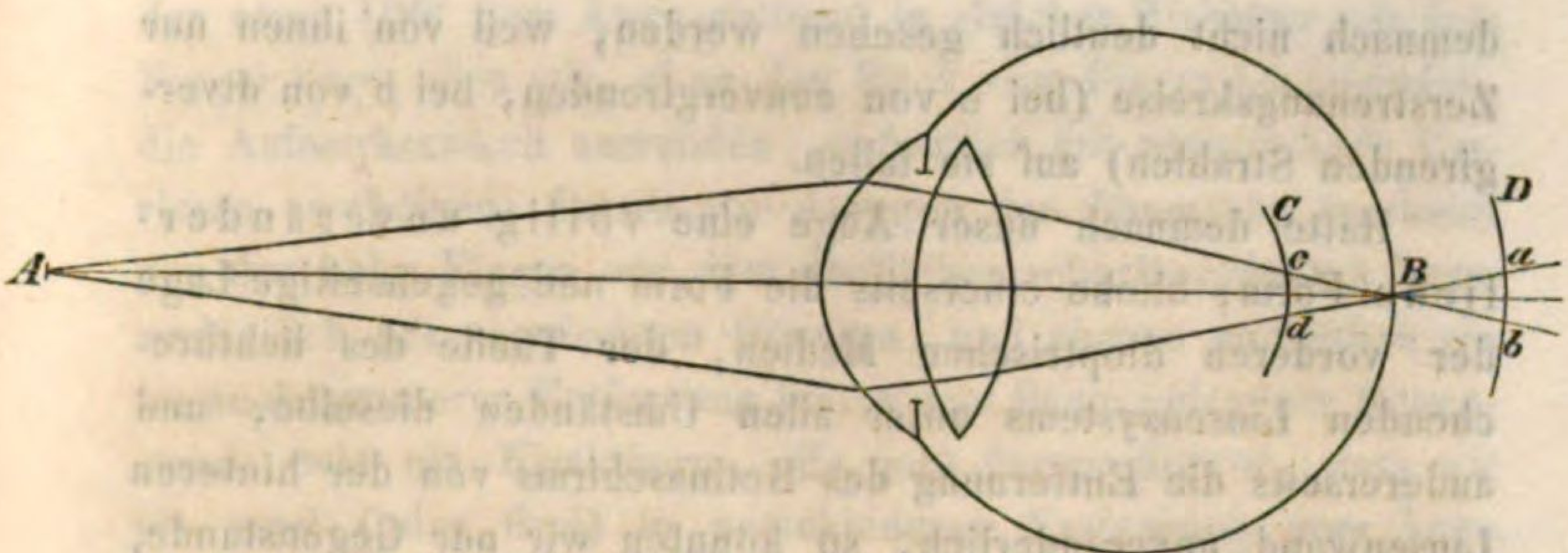
A ist das zu beobachtende Auge, B eine Flamme, welche durch den vorgeschobenen Schirm D verhindert wird, directe Strahlen auf A zu werfen. E ist die Röhre des Instruments, welche nach vorn durch den schrägen aus drei übereinander gelegten Glasplatten gebildeten Spiegel a b geschlossen wird. Dieser Spiegel wird nun, wie in der Figur zu sehen ist, in eine solche Lage zwischen Licht und Auge A gebracht, dass die von B auf ihn fallenden Lichtstrahlen B c von ihm gerade in das Innere des Auges geworfen werden c A; die von dort zurückkehrenden Strahlen A c werden dann zum Theil ebenfalls in c nach B reflectirt, gehen aber auch zum Theil durch die Glasplatten hindurch in das Auge des Beobachters C, (vor welchem noch zur besseren Vereinigung der Strahlen ein Concavglas d e angebracht ist [1]).

1) Dieses einfache ursprüngliche Instrument Helmholtz's hat seitdem eine grosse Reihe von Modificationen und vermeintlichen Verbesserungen erlitten, unter denen sich jedoch auch entschiedene Verschlechterungen befinden. Wer mit jenem, ebenso wie dies beim Mikroskop nöthig ist, sehen gelernt hat, wird dasselbe ebensowohl zu physiologischen als zu pathologischen Zwecken allen bisherigen Modificationen vorziehen. Das Instrument von Rüte z. B. giebt ein helleres grösseres Bild des Augengrundes, aber auf Kosten der Klarheit und Deutlichkeit.

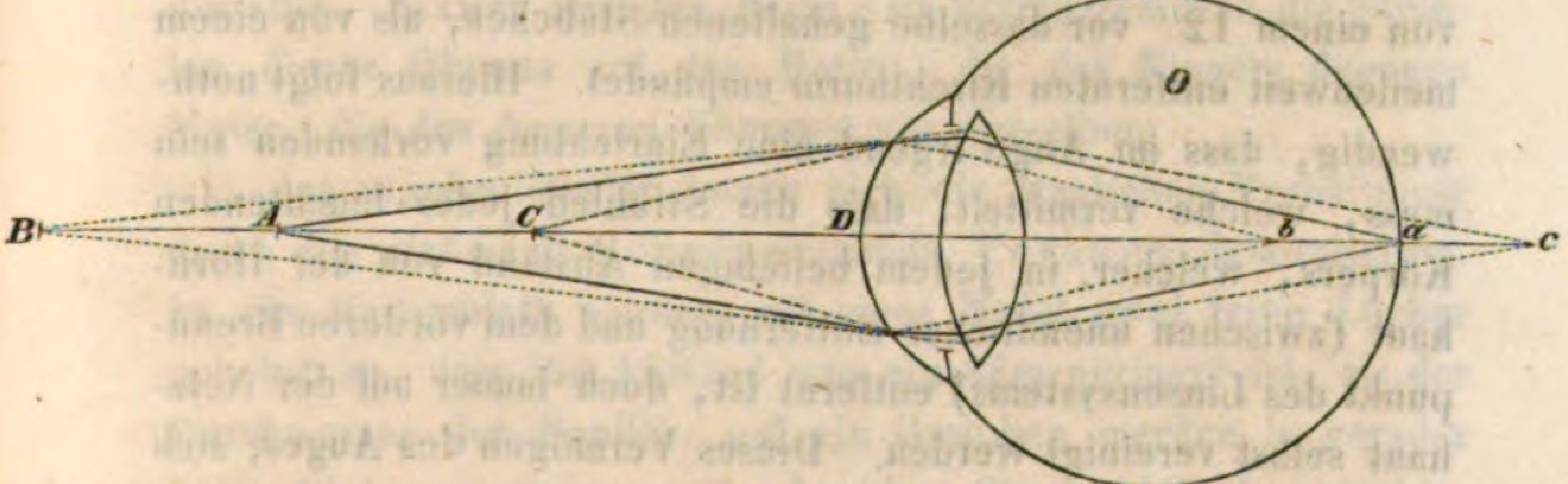
§. 131.

Von der Accommodation des Auges.

Wir haben bei der physikalischen Darlegung des Weges, welchen die von einem äusseren Object ausgehenden Lichtstrahlen im Auge nehmen, gesehen, dass der Vereinigungspunkt der von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen im Auge (bei gleichbleibender Form der brechenden Medien) seine Lage, seinen Abstand von der Linse der Entfernung des äusseren Objectes von der letzteren entsprechend wechselt. Der Vereinigungspunkt paralleler, also aus unendlicher Entfernung kommender Strahlen fällt in den hinteren Hauptbrennpunkt des zusammengesetzten Linsensystems; je näher das Object dem Auge rückt, desto ferner von der hinteren Linsenwand vereinigen sich seine Strahlen, bis bei der Lage des Objectes im vorderen Brennpunkt gar keine Vereinigung mehr stattfindet, sondern die Strahlen im Auge parallel fortgehen. Nun ist aber zur deutlichen Wahrnehmung eines äusseren Objectes absolut nothwendig, dass das Bild desselben gerade auf die Netzhaut, nicht vor, nicht hinter dieselbe fällt, d. h. dass die Vereinigungspunkte der von den einzelnen leuchtenden Punkten des Objects ausgehenden Strahlenbüschel gerade in die Ebene der Netzhaut fallen. Fallen sie vor oder hinter dieselbe, so kommt auf der Netzhaut nicht das Bild eines Punktes, sondern ein Zerstreuungskreis durch die Strahlen eines leuchtenden Punktes zum Vorschein, und von einem Gegenstand der aus einer Menge neben einander liegender leuchtender Punkte zusammengesetzt gedacht werden muss, decken sich die Zerstreuungskreise der benachbarten Punkte theilweise, so dass nur ein verwischtes undeutliches Bild entstehen kann, um so mehr, je grösser die Zerstreuungskreise, d. h. je weiter vor oder hinter die Netzhaut der Vereinigungspunkt der Strahlen fällt. Die beifolgende Figur auf pag. 517 oben, mag diese Verhältnisse erläutern. Die vom leuchtenden Punkt A in das Auge dringenden Strahlen werden durch das Linsensystem so gebrochen, dass sie sich in B vereinigen. Fällt B auf die Retina, so wird dieselbe ein punktförmiges Bild von dem Punkte A empfinden. Liegt aber die Netzhaut der Linse näher,



wie die Linie C andeutet, so wird sie von den Strahlen getroffen, bevor sie sich vereinigt haben, und demnach nicht in einem Punkte, sondern in einem Kreise, dessen Durchmesser c d (d. i. der Abstand der Randstrahlen an dieser Stelle) ist. Liegt die Netzhaut der Linse ferner, also in D, so wird sie von den Strahlen getroffen, nachdem sich dieselben bereits vereinigt haben und demnach schon wieder divergirend auseinander gehen; es muss wieder ein Zerstreuungskreis, statt eines punktförmigen Eindruckes entstehen, dessen Durchmesser gleich a b ist.



Haben wir nun vor dem Auge O drei leuchtende (in der Augenachse liegende) Punkte B A C in verschiedenen Abständen von der Hornhaut D, so werden nach obigem Gesetze ihre Vereinigungspunkte hinter dem Linsensystem in entsprechender Ordnung hinter einander fallen, der von B nach b, der von A nach a, der von C nach c. Hat nun das Auge die gezeichnete Gestalt, d. h. liegt der auffangende Schirm der Netzhaut, wie die Figur darstellt, gerade so weit hinter dem Linsensystem, dass er den Punkt a schneidet, so wird von A ein deutliches scharfes Bild auf die Netzhaut fallen und durch diese empfunden werden. Dann muss aber b, vor und c hinter die Netzhaut fallen, B und C können

demnach nicht deutlich gesehen werden, weil von ihnen nur Zerstreuungskreise (bei c von convergirenden, bei b von divergirenden Strahlen) auf sie fallen.

Hätte demnach unser Auge eine völlig unveränderliche Form, bliebe einerseits die Form und gegenseitige Lage der vorderen dioptrischen Medien, der Theile des lichtbrechenden Linsensystems unter allen Umständen dieselbe, und andererseits die Entfernung des Retinaschirms von der hinteren Linsenwand unveränderlich, so könnten wir nur Gegenstände, welche in einer einzigen ganz bestimmten Entfernung (A D) von der Hornhaut lägen, deutlich sehen; dem Auge näher und dem Auge ferner (als A) liegende Objecte müssten undeutlich in Folge der auf die Netzhaut fallenden Zerstreuungskreise erscheinen, um so undeutlicher, je grösser die Differenz ihres Abstandes von der Hornhaut von jener einen bestimmten Distanz wäre. Nun lehrt uns aber die tägliche Erfahrung, dass wir Gegenstände in den verschiedensten Entfernungen gleich deutlich sehen, dass ein gesundes Auge ein ebenso scharfes Bild von einem 12″ vor dasselbe gehaltenen Stäbchen, als von einem meilenweit entfernten Kirchthurm empfindet. Hieraus folgt nothwendig, dass im Auge irgend eine Einrichtung vorhanden sein muss, welche vermittelt, dass die Strahlen jedes leuchtenden Körpers, welcher in jedem beliebigen Abstand von der Hornhaut (zwischen unendlicher Entfernung und dem vorderen Brennpunkt des Linsensystems) entfernt ist, doch immer auf der Netzhaut selbst vereinigt werden. Dieses Vermögen des Auges, sich durch innere Veränderungen für das Deutlichsehen in verschiedene Entfernungen einzurichten, nennt man das Accommodationsvermögen.

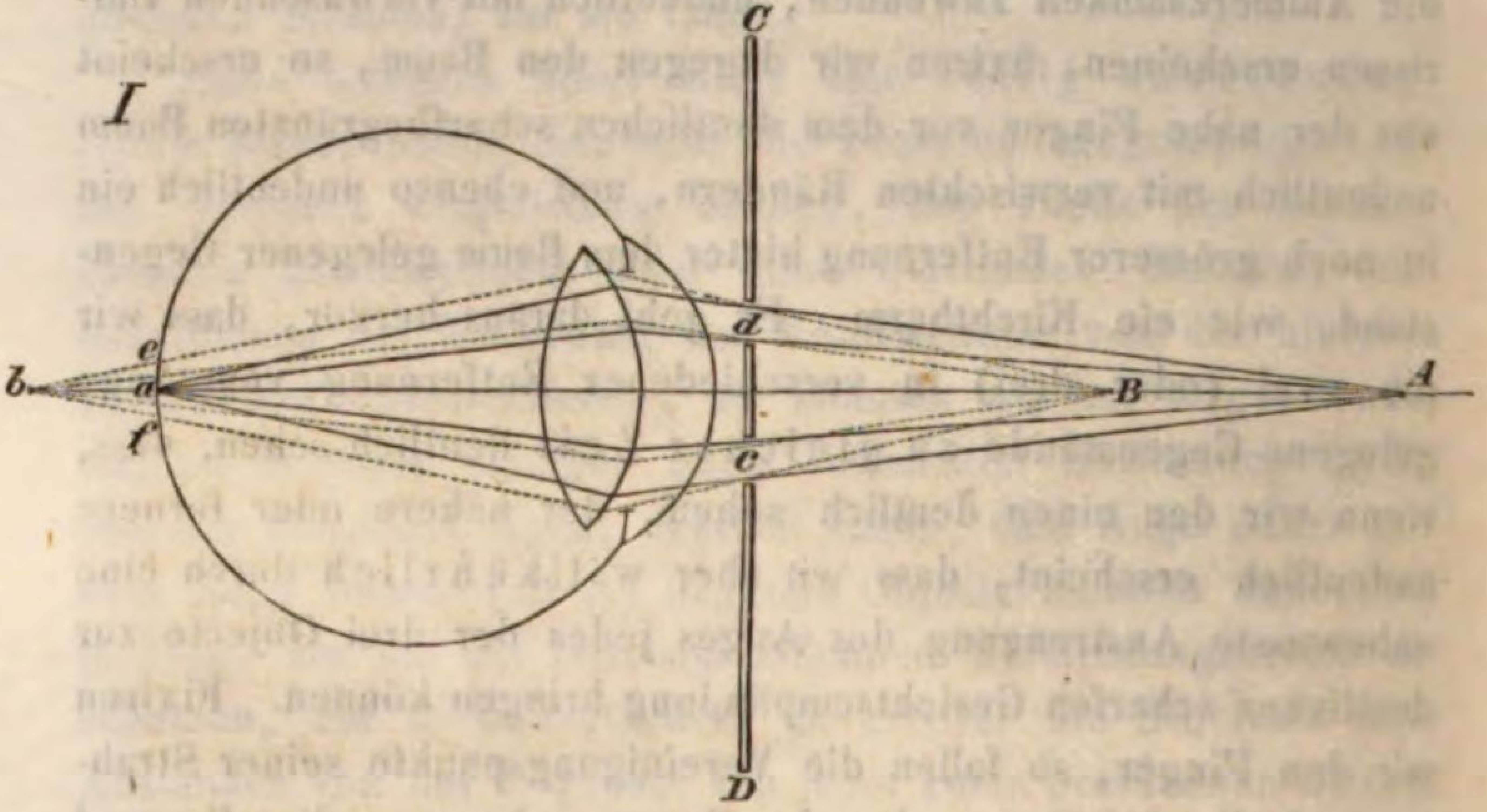
Betrachten wir zuerst einige Erscheinungen, welche am augenscheinlichsten die Einrichtung des Auges für die Betrachtung von Gegenständen in verschiedener Entfernung lehren, und erwägen sodann die verschiedenen möglichen Mittel und Wege, durch welche diese Veränderung hervorgebracht werden kann.

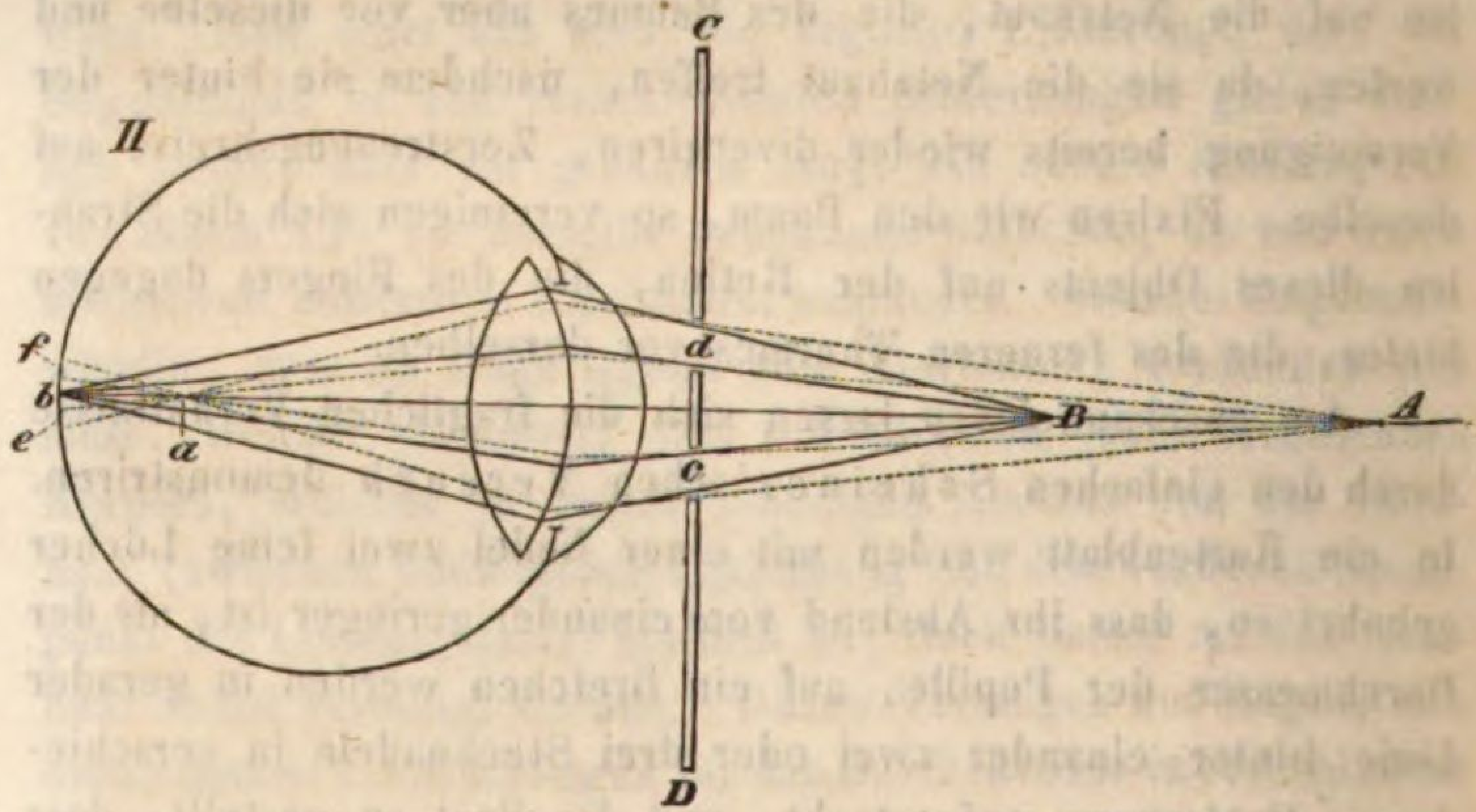
Halten wir einen Finger etwa in der Entfernung von 12″ vor das eine Auge, während das andere geschlossen ist, und fixiren denselben mit dem Auge, so wird uns z. B. ein Baum,

der etwa 100′ vom Auge entfernt in gleicher Richtung mit dem Finger liegt, dem wir, ohne den Blick vom Finger abzuwenden, die Aufmerksamkeit zuwenden, undeutlich mit verwaschnen Umrissen erscheinen; fixiren wir dagegen den Baum, so erscheint uns der nahe Finger vor dem deutlichen scharfbegränzten Baum undeutlich mit verwischten Rändern, und ebenso undeutlich ein in noch grösserer Entfernung hinter dem Baum gelegener Gegenstand, wie ein Kirchthurm. Es geht daraus hervor, dass wir nie zwei (oder drei) in verschiedener Entfernung vom Auge gelegene Gegenstände zu gleicher Zeit deutlich sehen, dass, wenn wir den einen deutlich sehen, der nähere oder fernere undeutlich erscheint, dass wir aber willkührlich durch eine unbewusste Anstrengung des Auges jedes der drei Objecte zur deutlichen scharfen Gesichtsempfindung bringen können. Fixiren wir den Finger, so fallen die Vereinigungspunkte seiner Strahlen auf die Netzhaut, die des Baumes aber vor dieselbe und werfen, da sie die Netzhaut treffen, nachdem sie hinter der Vereinigung bereits wieder divergiren, Zerstreuungskreise auf dieselbe. Fixiren wir den Baum, so vereinigen sich die Strahlen dieses Objects auf der Retina, die des Fingers dagegen hinter, die des ferneren Thurmes vor derselben.

Am anschaulichsten lassen sich die fraglichen Verhältnisse durch den einfachen Scheiner'schen Versuch demonstriren. In ein Kartenblatt werden mit einer Nadel zwei feine Löcher gebohrt so, dass ihr Abstand von einander geringer ist, als der Durchmesser der Pupille; auf ein Bretchen werden in gerader Linie hinter einander zwei oder drei Stecknadeln in verschiedener Entfernung aufgesteckt, und das Bret so gestellt, dass jene gerade Linie in die Richtung der Sehachse des einen Auges fällt. Hält man nun vor die Pupille dieses Auges die Oeffnungen des Kartenblattes in horizontaler Richtung, und betrachtet durch dieselben eine der Stecknadeln, so werden die anderen nicht fixirten vor oder hinter jener gelegenen undeutlich und doppelt erscheinen. Gesetzt, wir fixiren die mittlere der drei Nadeln, so wird die vordere und die hintere, jede ein doppeltes verwischtes Bild auf der Netzhaut entwerfen. Die Betrachtung der beiden folgenden Figuren erklärt leicht das

Phänomen und seine optischen Ursachen. C D ist das vor das Auge gehaltene Kartenblatt mit den zwei feinen (absichtlich





grösser gezeichneten) Oeffnungen c und d; B A sind zwei in verschiedenen Abständen hinter einander in der Sehachse aufgesteckte Nadeln, wovon jede durch die Oeffnungen zwei Strahlenbüschel in das Auge schickt. Fixiren wir, wie in Fig. I. dargestellt ist, die h i n t e r e Nadel A, so richtet sich das Auge so ein, dass der Vereinigungspunkt a ihrer Strahlen, d. h. der zwei durch die Oeffnungen zugelassenen Büschel gerade auf die Netzhaut fällt. In diesem Falle muss dann nach dem oben besprochenen Gesetz der Vereinigungspunkt der von der n ä h e r e n Nadel B ausgehenden (punktirten) Strahlen h i n t e r die Netz-

haut nach b fallen; jedes der beiden Strahlenbüschel trifft die Netzhaut während seines convergirenden Verlaufs, jedes muss daher einen besonderen Zerstreuungskreis bilden, das durch c eingedrungene in f, das durch d eingedrungene in e; auf diese Weise muss (in f und e) ein doppeltes undeutliches Bild der einfachen Nadel b zu Stande kommen. Der umgekehrte Fall tritt, wie in Fig. II. dargestellt ist, ein, wenn wir die vordere Nadel B fixiren. Es richtet sich dann das Auge so ein, dass der Vereinigungspunkt b der in zwei Büscheln eingedrungenen Strahlen dieser Nadel gerade auf die Netzhaut fällt. Der Vereinigungspunkt der Strahlen der ferneren Nadel A muss dann vor die Netzhaut nach a fallen; in a müssen sich die Strahlen kreuzen und hinter a divergirend weiter gehen; die Strahlen des durch c eingedrungenen Büschels müssen nothwendig nach f divergiren, die durch d eingedrungenen nach e zu, erstere werden daher in f, letztere in e die Netzhaut treffen und jede für sich einen Zerstreuungskreis bilden, also ein doppeltes undeutliches Bild von A entwerfen.

Verschliesst man eines der beiden Kartenblattlöcher, z. B. d, so wird in beiden Fällen eines der beiden Doppelbilder der nicht fixirten Nadel verschwinden, welches dem durch d eingedrungenen Strahlenbüschel entspricht. Es lässt sich aus den Figuren leicht ersehen, dass im ersten Falle (I) einer der beiden Zerstreuungskreise der nahen Nadel B wegfällt, und zwar der in e von den noch convergirenden Strahlen gebildete, welcher auf derselben Seite wie das verschlossene Loch d von der Sehachse liegt. Im zweiten Falle (II) dagegen muss ein Zerstreuungskreis der fernen Nadel A verschwinden, und zwar der in e von den bereits wieder divergirenden Strahlen gebildete, welcher wegen der in a nothwendig stattfindenden Kreuzung der Strahlen auf der entgegengesetzten Seite der Sehachse liegt.

Die Folgerungen für die vorliegende Frage aus dem erörterten Scheiner'schen Versuch sind leicht zu ziehen; er beweist eben auch, dass das Auge nicht zugleich Gegenstände in verschiedenen Entfernungen deutlich zu sehen vermag, dass in demselben eine willkührliche Veränderung vor sich gehen muss, durch welche es sich für die verschiedenen Abstände der Leuchtpunkte accommodirt, d. h. so einrichtet, dass die Vereinigungspunkte ihrer Strahlen auf die Netzhaut selbst, nicht vor oder hinter dieselbe fallen.

Wir wenden uns jetzt zu der schwieriger zu beantwortenden und bis heute noch nicht genügend beantworteten Frage: auf welchen Veränderungen beruht das Accommodationsvermögen des Auges, durch welche Mittel wird die Netzhaut immer in den Focus der Strahlen aus verschiedenen Entfernungen oder umgedreht der Focus der aus verschiedenen Distanzen kommenden Strahlen immer auf die Netzhaut gebracht?

Von vornherein lässt sich leicht einsehen, dass nur zwei mögliche Wege vorhanden sind, auf welchen die Accommodation des Auges denkbar ist; entweder muss der auffangende Schirm der Netzhaut beweglich, vor- und zurückschiebbar sein, so dass er beim Nahesehen durch irgend welche Mittel zurück, beim Fernsehen nach vorn geschoben wird, oder, wenn die Netzhaut unverrückbar ist, müssen Form- oder Lageveränderungen in den brechenden Medien des Auges vor sich gehen können, welche den Brennpunkt der Strahlen aus den verschiedenen Entfernungen immer in dieselbe Ebene, in die Ebene der empfindenden Netzhautfläche versetzen. Eine dritte Möglichkeit, an welche wohl auch gedacht worden ist, müssen wir von vornherein als unphysiologisch zurückweisen, d. i. die Annahme, dass der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen, ohne der Deutlichkeit der Empfindung Eintrag zu thun, innerhalb der Gränzen des Dickendurchmessers der Retina wechseln könne; dass also ein leuchtender Punkt ebenso deutlich empfunden werde, möge der Focus seiner Strahlen auf die innere Netzhautfläche oder in das Innere des Netzhautgewebes, oder endlich auf die äussere Oberfläche der Retina fallen. Abgesehen davon, dass die immerhin sehr engen Gränzen, welche in diesem Fall dem Vor- und Zurückrücken der Vereinigungspunkte gesteckt wären, unmöglich die Accommodation des Auges in dem Umfange, dass es unendlich entfernte und 5″ entfernte Gegenstände gleich scharf wahrnimmt, erklären könnte, muss überhaupt auch nur von einer theilweisen Erklärung der Accommodation auf diesem Wege abgesehen werden. Ein einziger Blick auf Form, Lagerung und Verschiedenheit der einzelnen Gewebselemente der Retina lehrt, dass unmöglich ein und dasselbe Bild auf gleiche Weise in ver-

schiedenen Schichten derselben zu Stande kommen kann, dass alle die vollendeten Sammelapparate des Auges nicht im Stande sind, ein Bild im Innern der Netzhaut zu entwerfen, indem die Strahlen nothwendig beim Auftreffen und Durchgang durch die Fasern des Sehnerven die Ganglienkugeln und Körner aus ihrer für die Vereinigung zum Bild erforderlichen Ordnung und Richtung durch die mannigfachste Ablenkung und Reflexion gebracht werden müssen. Es kann nur in einer völlig constanten Ebene die empfindende Fläche der Netzhaut liegen, schon darum, weil unmöglich alle die so wesentlich verschiedenen Elemente der verschiedenen Schichten abwechselnd und beliebig dieselbe Rolle spielen, die Aufnahme des Lichteindrucks besorgen können. Diese Ebene kann aber nur auf der inneren Netzhautoberfläche liegen, weil jenseits derselben das mühsam hergestellte Bildchen zerstört wird. Dass aber die bewusste Empfindung eines Bildes nur möglich ist, wenn dasselbe als solches den Nerven an seiner Peripherie trifft, d. h. wenn jeder leuchtende Punkt als solcher einen empfindenden Punkt trifft, mit Beibehaltung seiner Form und relativen Lage zu den übrigen Leuchtpunkten des wahrzunehmenden Objects, wird wohl Niemand bestreiten.

Die Ansicht einiger Physiologen, wie Magendie, dass das Auge gar keiner inneren Veränderung bedürfe, um in verschiedenen Entfernungen deutlich zu sehen, sondern vermöge der Structur seiner brechenden Medien das Vermögen besitze, Strahlen aus jeder beliebigen Distanz in derselben Ebene, der Netzhaut, zu sammeln, entbehrt jeder Begründung, und wird schon durch den einfachen Scheiner'schen Versuch, mehr noch durch die directe Untersuchung der Netzhautbilder widerlegt. Wenn Magendie an dem ausgeschnittenen Auge eines weissen Kaninchens das Bild naher wie ferner Objecte gleich deutlich gesehen haben will, so müssen wir dies mit Volkmann [1]) als eine Täuschung bezeichnen. Bei der ausserordentlichen Kleinheit des Bildes im Kaninchenauge, welches noch dazu durch die äusseren Häute des Bulbus hindurch nie mit vollendeter Klarheit zu beobachten ist, kann über Deutlichkeit und Undeutlichkeit, die Bildung oder Abwesenheit der verhältnissmässig kleinen Zerstreuungskreise ohne Anwendung von Vergrösserungsgläsern kein Urtheil möglich sein. Wendet man diese an, wie Ger-

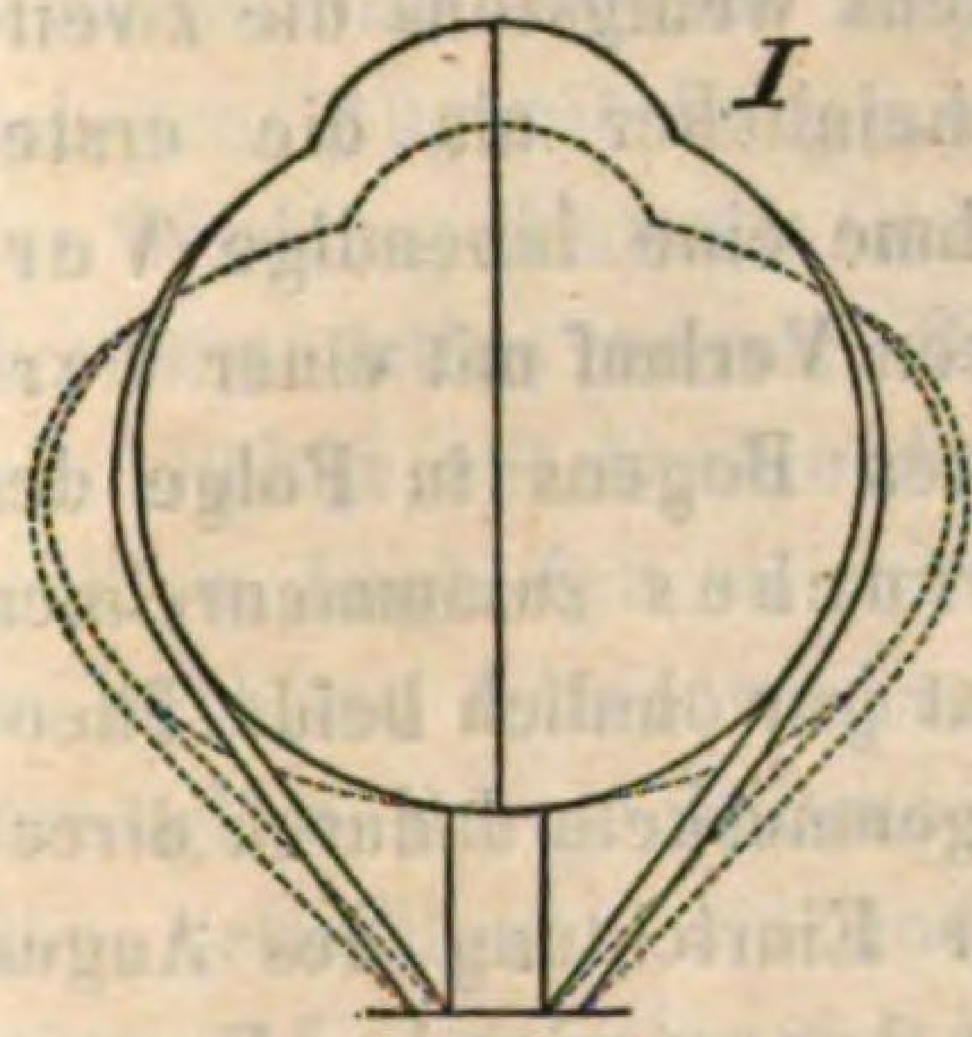
1) Volkmann, a. a. O. p. 299.

ling[1]) und Volkmann gethan haben, wie ich mich ebenfalls überzeugt habe, so kann man auf das Evidenteste das Wechseln der Deutlichkeit des Bildes mit der Entfernung des äusseren Objectes beobachten.

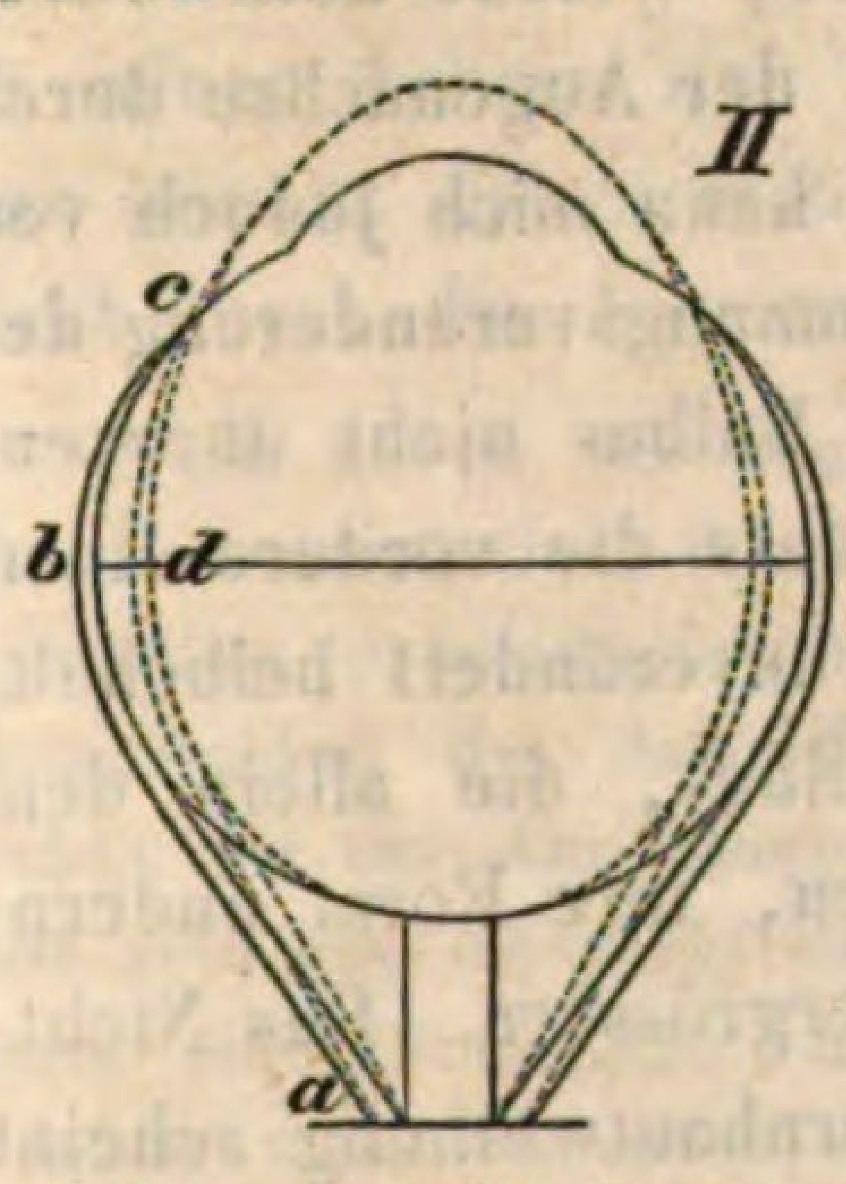
Wir wenden uns jetzt zu der Betrachtung und Prüfung der verschiedenen Mittel, durch welche wirkliche Veränderungen im Auge zum Zweck des deutlichen Sehens in verschiedenen Entfernungen hervorgebracht, die Accommodation auf einem oder dem andern der oben genannten zwei Wege bewerkstelligt werden kann. Jedes dieser Mittel hat unter den Physiologen Vertreter gefunden, für jedes hat man sich bemüht, thatsächliche Beweise herbeizuschaffen, und doch besitzen wir noch keine Theorie der Accommodation, gegen welche sich nicht erhebliche Einwände geltend machen liessen.

Am nächsten lag wohl der Gedanke, die Einrichtung des Auges für verschiedene Fernen in einer Verkürzung und Verlängerung der Augenachse mit Hülfe der geraden und schiefen Augenmuskeln zu suchen; es soll nach dieser Anschauung durch jene Muskeln der Längsdurchmesser des Bulbus für ferne Gegenstände verkürzt, für nahe verlängert werden, so dass die hintere Retinawand den verschiedenen Lagen der Brennpunkte entsprechend vor und zurückgeschoben wird. Fragen wir nach der Art und Weise, wie die genannten Muskeln durch ihre Contraction diesen Effect hervorbringen sollen, so stossen wir auf zwei verschiedene, ja entgegengesetzte Erklärungsversuche; die Einen lassen durch die Verkürzung der genannten Muskeln die Augenachse verkürzt, die Anderen verlängert werden, die Einen demnach das Auge für die Ferne, die Anderen für die Nähe accommodirt werden. Die Einen glauben, dass die vier *m. recti* durch gleichzeitige Contraction den Augapfel nach hinten zu ziehen sich bestreben, da aber das die hintere Augenhöhle ausfüllende Fettpolster nicht ausweichen könne, ihn gegen diese hintere Wand zusammendrücken, mithin seine Längsachse verkürzen, während der Querdurchmesser wachse, in der Weise, wie die punktirten Linien der beistehen-

1) Gerling, Poggend. Ann. 1839. p. 243.



den Figur I. andeuten. Andere, und diese Ansicht wird noch heute von namhaften Männern vertreten, suchen einen anderen Effect der Verkürzung aus der Insertion und Lage der genannten Muskeln herzuleiten. Da nämlich jeder derselben sich nicht an der Stelle des Bulbus, wo dessen grösste Peripherie ist, sondern weiter nach vorn, dem Cornearande näher sich inserirt, so bilden sie natürlich keine gerade Linie, sondern einen der



Krümmung der Bulbusoberfläche entsprechenden Bogen a b c in Figur II. Die nothwendige Folge der Contraction der Muskeln sei daher das Bestreben, sich in eine gerade Linie zu verwandeln, den Bogen abzuflachen in a d c; hieraus resultire wiederum eben so nothwendig eine seitliche Compression des Augapfels, welche an der grössten Peripherie (dem Aequator) in b am stärksten sein muss, und daher eine Verkürzung des Querdurchmessers bei entsprechender Zunahme der Längsachse. Bei beiden Erklärungsweisen wird vorausgesetzt, dass der Augapfel nach hinten nicht ausweichen könne; das elastische nachgiebige Fettpolster der Augenhöhle ist jedoch diesem Postulat wenig günstig; wir müssen im Gegentheil eben die Elasticität dieses Fettpolsters als eine seiner wichtigsten Eigenschaften, durch die es ein Schutzorgan für den Augapfel wird, betrachten. Eine so elastische Wand kann aber nicht als Stützpunkt für die Augenmuskelverkürzung dienen, am wenigsten, wo es sich um so geringe aber so mathematisch exacte Bewegungen handelt, wie sie für die Accommodation des Auges vorausgesetzt werden müssen. Ueberhaupt erscheint der Mechanismus der Augenmuskeln, abgesehen von der mangelnden Befestigung des Augapfels und den unten zu nennenden Gründen, zu roh für so subtile Zwecke. Sehen wir von diesem Einwand gegen die fragliche Wirkung der Augenmuskeln

überhaupt ab, so wäre meines Erachtens wenigstens die zweite der erörterten Theorien viel wahrscheinlicher als die erste; denn wie sich bei der ersten Annahme eine lebendige Verkürzung der Muskeln in ihrem ganzen Verlauf mit einer Vergrösserung des von ihnen gebildeten Bogens in Folge des von ihnen selbst ausgeübten Druckes zusammenreimen soll, ist mir nicht begreiflich. Man hat gewöhnlich beide Theorien der Accommodation durch die Augenmuskeln dadurch direct widerlegt geglaubt, dass sich bei der Einrichtung des Auges für verschiedeue Fernen keine Veränderung in der Krümmung der Hornhaut beobachten lasse, welche nothwendig mit einer Verkürzung oder Verlängerung der Augenachse durch Compression verbunden sein müsse. Ich kann mich jedoch von der absoluten Nothwendigkeit einer Krümmungsveränderung der Hornhaut in Folge der Compression des Bulbus nicht überzeugen, es dünkt mir sehr wohl möglich, dass die vordere Kammer mit der Cornea, ihre Gestalt ganz unverändert beibehält, während die hinteren Parthieen des Bulbus, die allein dem Druck der Muskeln unmittelbar unterliegen, ihre Form ändern, die eine Achse auf Kosten der anderen vergrössern. Das Nichteintreten von Veränderungen in der Hornhautwölbung scheint mir demnach wenigstens kein sicherer Gegenbeweis gegeu die hypothetische Function der Augenmuskeln. Weit mehr sprechen dagegen ausser dem oben schon angeführten Grund gewisse pathologische Erfahrungen; sehr häufig nämlich beobachtet man eine bedeutende Störung oder Mangel des Accommodationsvermögens, ohne dass sich in dem Spiel der Augenmuskeln die geringsten Abweichungen bemerken liessen, während oft umgedreht bei vollkommner Lähmung des *nervus oculomotorius* das Accommodationsvermögen ungeschwächt sich erhält. Aus denselben Gründen ist auch eine Betheiligung der schiefen Augenmuskeln bei der Accommodation, welche Einige angenommen haben, nicht wahrscheinlich. Es spricht ferner gegen alle Augenmuskeln als Accommodatoren der noch von Keinem gewürdigte Umstand, dass wir nicht allein bei geradeaus oder wenig nach innen gerichteter Augenachse, wo allein ein gleichmässiges Zusammenwirken jener Muskeln denkbar ist, das Auge für

verschiedene Fernen adaptiren können, sondern bei jeder beliebigen Augenstellung, wo doch einzelne der Muskeln isolirt zur Wirkung kommen und für den hypothetischen Zweck der Accommodation ausser Wirksamkeit treten müssten. Gesetzt, wir blicken mit beiden Augen möglichst nach rechts, so ist im rechten Auge der *m. rectus externus*, im linken der *internus* im höchsten Grade verkürzt; beide können in diesem Zustande unmöglich durch weitere Verkürzung sich an der Accommodation betheiligen, die andern *recti* aber ohne sie eine gleichmässige Compression des Bulbus unmöglich bewerkstelligen, zumal da durch die Drehung des letztern auch ihre relative Lage zu seinen Achsen sich ändert. Augendrehung und Accommodation können daher nicht durch dieselben Mittel, folglich letztere nicht durch die Augenmuskeln bewerkstelligt werden.

Noch haben wir eines Muskels zu gedenken, den man auch für die Accommodation des Auges zu Hülfe gerufen hat, und das ist der *musculus orbicularis palpebrarum*; auch dieser sollte durch eine Compression des Augapfels wirken. Dass derselbe für gewöhnlich nichts mit der Anpassung des Auges zu thun hat, kann nicht zweifelhaft sein und ist leicht durch directe Versuche zu erhärten. Allein es giebt eine Thatsache, auf welche mich Professor Arlt aufmerksam machte, welche höchst wahrscheinlich macht, dass er wenigstens bei der Anpassung stark weitsichtiger Augen für die Nähe unterstützend mitwirkt. Beobachtet man einen bejahrten Menschen, dessen Auge wie gewöhnlich in hohem Grade weitsichtig geworden ist, beim Lesen, so sieht man, dass derselbe constant die Schrift stark nach unten hält, nie gerade vor sich hin, den Bulbus demnach stark nach unten dreht, und dabei das obere Augenlid zusammenkneipt, wodurch das Gesicht solcher Leute beim Lesen immer einen eigenthümlichen Ausdruck erhält. Es scheint demnach allerdings, als ob in diesem Falle der fragliche Muskel zur Verlängerung der Augenachse durch Druck auf den oberen Theil des Bulbus mit beizutragen bestimmt wäre.

Wir haben bereits oben erwähnt, dass sich eine Veränderung in der Krümmung der Hornhaut bei Einrichtung des Auges für verschiedene Fernen nicht nachweisen liesse, und damit fällt ebenfalls eine hypothetische Erklärung dieses Vorganges zusammen. Den Beweis für das Gleichbleiben der Hornhautkrümmung hat Senff durch sorgfältige Messungen des Spiegelbildes auf der Hornhaut bei verschiedenen Accommodations-

zuständen geliefert, aus welchen sich herausstellt, dass der Krümmungshalbmesser beim Nahesehen sogar um ein Weniges, 0,006''' grösser als beim Fernsehen ist. Volkmann[1]), welcher diese Beobachtungen mittheilt, sagt, dass dieses Ergebniss dem gerade entgegensteht, was vorausgesetzt werden müsste, um die Adaption zu erklären, worauf indessen kein Gewicht zu legen ist, da der wahrscheinliche Fehler des Endresultates 0,007''' beträgt, woraus sich als gewiss ergiebt, dass keine Veränderung des Halbmessers über 0,01''' vorkömmt. Eine so geringe mögliche Veränderung kann aber bei der Frage nach der Accommodation nicht in Anschlag kommen, da die Accommodation von 5'' auf 222'' (Entfernung vom Auge) eine Veränderung von 0,435''' nach Senff in Anspruch nehmen würde. Auch Valentin[2]) u. A. konnten sich von einer Veränderung der Hornhaut durch Beobachtung ihres Spiegelbildes beim Nah- und Fernsehen nicht überzeugen.

Können wir somit das Accommodationsvermögen des Auges weder in einer Verkürzung und Verlängerung der Augenachse mit Hülfe der äusseren Augenmuskeln, noch in einer Krümmungsveränderung der Cornea, gleichviel durch welche Mittel dieselbe möglich gedacht wird, begründet finden, so bleibt uns nichts übrig, als in der Krystalllinse, dem wichtigsten dioptrischen Apparat, das Werkzeug jenes Vorganges zu suchen; und diese ist es auch, für deren Function als Accommodator nicht allein die meisten Autoritäten, sondern auch die besten Beweisgründe sprechen. Offenbar ist eine Accommodation durch die Linse auf zweierlei Wegen denkbar, welche möglicherweise auch zugleich stattfinden, in ihren Wirkungen sich summiren können. Entweder kann die Linse ihre Form verändern, durch Ab- und Zunahme ihrer Krümmungshalbmesser den Brennpunkt der sie passirenden Strahlen verlegen, oder sie kann ihre Lage ändern, vor und zurück, der Hornhaut näher und ferner rücken und dadurch bewirken, dass der Vereinigungspunkt der Strahlen aus verschiedenen Entfernungen in gleiche Ebene, in die

---

1) Volkmann, a. a. O. p. 303. — 2) Valentin, Lhrb. der Phys. 2. Aufl. II. 2. p. 121.

Ebene der Netzhaut fällt. Was die Formveränderung der Linse betrifft, so ist dieselbe zwar weder direct erwiesen noch widerlegt, allein es fehlt uns ganz und gar an der Kenntniss eines Mittels, durch welches wir eine so beträchliche Veränderung, wie sie zur Anpassung erforderlich wäre, hervorgebracht werden könnte. Die Linse selbst enthält durchaus keine contractilen Elemente, und unter ihren Nachbargebilden, selbst den wirklich contractilen, können wir von keinem mit einiger Sicherheit eine solche Wirkung auf die Linse erweisen. Für die Annahme einer Vor- und Rückwärtsbewegung der Linse vereinigen sich jetzt die meisten Stimmen, obwohl auch hierfür der directe Nachweis noch nicht geliefert worden, und das Organ der Bewegung nicht so leicht ohne zu kühne Hypothesen aufzufinden ist [1]. Hück [2] und Rüte [3] glauben diese Bewegung aus einer Zusammenziehungsfähigkeit des Faltenkranzes erklären zu können, allein eine selbstständige Zusammenziehungsfähigkeit dieses Organes kann in keinem Falle statuirt werden, da kein einziges contractiles Element in demselben sich nachweisen lässt. Der ausserordentliche Gefässreichthum des Faltenkranzes hat ebenfalls zu einer Theorie der Accommodation Veranlassung gegeben; Burrow [4] glaubt: die Dislocation der Linse nach der Netzhaut hin wird bewirkt durch ein Abströmen des Blutes aus der Iris; dieses bewirkt Erweiterung der Pupille und Zuströmen des Blutes zu dem Faltenkranz, stärkeren Turgor desselben und Streckung der Ciliarfortsätze, wodurch letztere einen Druck auf den Rand der Linsenkapselwand ausüben und diese dadurch nach rückwärts drängen. Umgekehrt würde der Vorgang beim Vorrücken der Linse oder der Accommodation für die Nähe sein; Hück will sogar ein Wölben der Iris nach vorn beim Betrachten naher Gegenstände beobachtet haben. Die in der

---

1) Wie mir durch Privatmittheilung bekannt ist, haben wir von sehr geachteter Seite her binnen Kurzem den directen physikalischen Nachweis für das wirklich bei der Accommodation erfolgende Vor- und Zurückweichen der Linse zu erwarten. — 2) Hück, Bewegung der Krystalllinse, Dorpat 1839. — 3) Rüte, Neue Unters. u. Erfahr. über d. Schielen. Göttingen 1841. p. 37 u. f. — 4) Burrow, Beitr. zur Physiol. u. Physik d. menschl. Auges. Berlin 1842.

Regel Hand in Hand mit der Accommodation gehende Erweiterung und resp. Verengerung der Pupille ist die einzige Thatsache, welche diese Ansicht unterstützt, aber natürlich nicht beweist. Abgesehen davon, dass ein solcher Turgor in den Gefässen des Faltenkranzes eine reine Hypothese, dass die daraus resultirende Bewegung der Linse eine sehr gewagte Voraussetzung ist, scheint uns erstens ein solcher Turgor ein viel zu unsicheres, schwankendes Moment, um eine so prompte, mathematisch exacte Bewegung, wie sie sein muss, hervorzubringen, und zweitens in jedem Fall viel zu unbedeutend, um eine Linsenbewegung in dem Umfang, als sie die Accommodation erfordert, zu erzielen. Dazu kommt, dass der Grade der Pupillenbewegung, wie wir schon oben sahen, durchaus nicht immer dem Accommodationszustand völlig proportional ist; dass unter Umständen sehr ferne Gegenstände bei weiter oder auch bei enger Pupille betrachtet werden, und umgekehrt.

Eine andere *vis movens* hat neuerdings Stellwag[1]) für die Linse nachzuweisen gesucht, und eine ziemlich complicirte Theorie der Anpassung des Auges gegeben, welche der vorigen in einigen Punkten gerade entgegensteht. Er glaubt, dass die Contraction der Längsfasern der Iris im Stande sei, durch Vermittlung des Ciliarkörpers einen Druck auf den vorderen seitlichen Umfang des Glaskörpers auszuüben, durch welchen dessen vordere centrale Parthie nach vorn getrieben werde und so die Linse zum Zweck des Nahesehens vorschiebe, während zugleich durch den seitlichen Druck auf den Linsenrand eine Veränderung ihres vorderen Krümmungshalbmessers erfolge.

Die Theorie von Stellwag gründet sich auf die hypothetische Thatsache, dass die Iris nicht in einer Ebene ausgespannt sei, sondern eine nach vorn gewölbte Kuppel bilde, welche Kuppel höher gewölbt sei, wenn das Auge bei weiter Pupille für die Ferne accommodirt sei, sich dagegen abflache, wenn jenes bei enger Pupille für die Nähe accommodirt sei. Die Kuppel wird nach ihm dadurch gebildet, dass die innere Abtheilung der Iris durch die anliegende Linse selbst nach vorn gewölbt ist (wie sich daraus ergebe, dass bei Staaroperationen

1) Stellwag, Wien. Ztsch. f. A. VI, 3 u. 4. 1850. Schmidt's Jahrb. 1850.

im Moment der Depression der Linse nach hinten auch die innere ihr aufliegende Irisparthie nach hinten zurücksinke und dann ihres Haltes beraubt flottire), die äussere Hälfte dagegen durch die etwas vorragenden Köpfe der Strahlenfortsätze nach vorn ausgebaucht ist. Nun besitzt die Iris zwei antagonistische Muskelsysteme, die Längs- und die Kreisfasern; contrahiren sich die Längsfasern bei erschlafften Kreisfasern, so erweitern sie die Pupille, contrahiren sich letztere bei erschlafften Längsfasern, so verengen sie die Pupille. Streben beide zu gleicher Zeit mit gleicher Kraft sich zu contrahiren, so halten sie sich das Gleichgewicht. Sind nun die Kreisfasern im Zustande der energischen Contraction, so können sie für die Längsfasern einen fixen Punkt abgeben, während dieselben einen zweiten fixen Punkt an ihrem Ursprung am äusseren Irisrande haben. Contrahiren sich dann die Längsfasern bei dieser Fixation ihrer beiden Enden, so kann die Wirkung ihrer Contraction keine andere sein, als dass sie den nach Stellwag von ihnen selbst gebildeten, nach vorn gewölbten Bogen abzuflachen streben; durch dieses Bestreben üben sie einen Druck auf den Ciliarkörper aus, dieser drückt durch die *zonula Zinnii* auf den Petit'schen Kanal, und dieser pflanzt den Druck, da keines der Gebilde compressibel ist, auf den seitlichen Umfang der Vorderfläche des Glaskörpers fort. Dieser weicht dem Druck dadurch aus, dass er den mittleren Theil seiner vorderen Fläche, die tellerförmige Grube, nach vorn vorwölbt und dadurch die in dieser Grube liegende Linse nach vorn schiebt. Zugleich erleidet nach Stellwag der Rand der Linsenkapsel durch die an ihm befestigten Fortsätze der *zonula Zinnii* einen Druck, durch welchen die Convexität der Vorderfläche der Linse vermehrt werden soll. Auf diese Weise bewirken das Vorschieben der Linsen und die Zunahme ihrer vorderen Krümmung gemeinsam (während zugleich durch beide Umstände die Form des Meniscus, den das Kammerwasser bildet, abgeändert wird) ein Vorrücken des Vereinigungspunktes der Lichtstrahlen, wie dies beim Sehen naher Gegenstände erforderlich ist, damit derselbe auf die Netzhaut selbst fällt, also eine Accommodation für die Nähe. Die Accommodation für die Ferne wird lediglich durch die Elasticität der gedrückten Theile, welche von selbst die Linse in ihre Lage zurückführt, sobald der Druck nachlässt, bewerkstelligt.

Auch gegen diese Theorie lässt sich so Manches einwenden, es fehlt ihr an hinlänglich erwiesenen Prämissen. Wir können uns weder von dem wirklichen Vorhandensein einer kuppelartigen Vorwölbung der Iris überzeugen, selbst wenn wir ein Anliegen der Vorderkapsel an der Pupille zugeben wollen, noch können wir uns mit der Art des hypothetischen

Drucks, den die sich contrahirenden Längsmuskeln ausüben, seiner Fortpflanzungsweise und seinem Endresultat, dem Vorrücken und Wölben der Linse, einverstanden erklären. Wie bald müsste die vortretende Linse durch ihr Vortreiben der Iris dem Druck eine Gränze setzen! Wie gross müsste der fragliche Bogen der Irislängsfasern sein, wenn durch seine Abflachung eine für die Accommodation nur irgend in Betracht kommende Locomotion der Linse erzielt werden sollte!

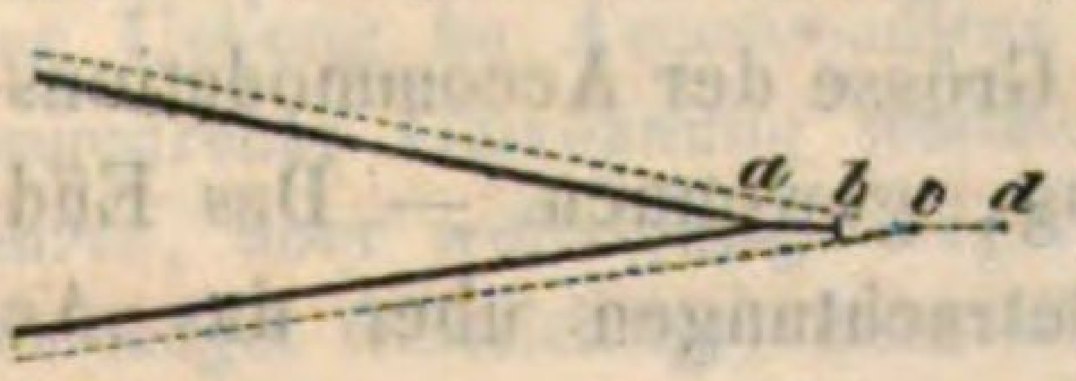
Wir können demnach auch dieser Hypothese nicht beipflichten und müssen offen bekennen, dass uns der Mechanismus, durch welchen eine Ortsbewegung der Krystalllinse mit oder ohne Formveränderung hervorgebracht wird, noch gänzlich unbekannt ist. Nichts desto weniger bleibt diese Ortsbewegung das wahrscheinlichste Mittel der Accommodation; eine wichtige Unterstützung für diese Annahme giebt die von den meisten Ophthalmiatrikern constatirte Thatsache, dass die Extraction oder Zerstörung der Linse bei Cataractoperationen mit völligem Verlust oder wenigstens bedeutender Schwächung des Accommodationsvermögens verbunden ist.

Aus Volkmann's[1]) Beobachtungen geht hervor, dass das ruhende Auge für die Ferne accommodirt sei; eine Ortsbewegung der Linse und zwar ein Vortreten derselben ist daher nur für die Accommodation in der Nähe erforderlich; lässt die dazu verwendete Anstrengung, von welcher Art sie auch sei, nach, so kehrt das Auge von selbst in seinen natürlichen Accommodationszustand zurück. Man hat hauptsächlich zweierlei gegen die Ortsbewegung der Linse zu dem fraglichen Zwecke eingewendet, erstens, dass das incompressible Kammerwasser keinen Raum zum Ausweichen habe, zweitens, dass für einen Wechsel der Einrichtung des Auges von der unendlichen Ferne bis auf die grösste Nähe eine viel zu beträchtliche Verschiebung der Linse nöthig sei, als dass dieselbe wirklich im Auge stattfinden könne. Was das Ausweichen des Kammerwassers betrifft, so ist diese Frage bis heute noch nicht genügend erledigt, alle die Wege, die man demselben angewiesen hat, aus

1) Volkmann, a. a. O. p. 301.

anatomischen oder physikalischen Gründen nicht annehmbar. Was aber die zu grosse erforderliche Verschiebung betrifft, so sind die früheren Schätzungen dieser Grösse aus mehreren Gründen bedeutend zu restringiren. Eine der wichtigsten hierher gehörigen Thatsachen ist die von Sturm und Volkmann[1]) erwiesene, dass in Folge der parabolischen Begränzungsflächen der dioptrischen Medien des Auges die von einem Punkt ausgehenden Strahlen nicht in einem geometrischen Punkt, sondern in einer Linie von gewisser Länge, in einem länglichen Lichtraum vereinigt werden, dass also jedes Bild im Auge eine gewisse Tiefe besitzt, innerhalb deren die Deutlichkeit desselben sich gleich bleibt. Damit ist natürlich für die Deutlichkeit des Sehens ein gewisser Spielraum gewonnen, durch welchen nothwendig die Accommodationsanstrengung um eine entsprechende Grösse verringert wird. Das Bild eines Gegenstandes wird, ohne dass irgend eine Veränderung nöthig ist, deutlich wahrgenommen werden, sobald nur die Netzhaut noch innerhalb des länglichen Lichtraumes, in welchem die Strahlen vereinigt werden, liegt.

Denken wir uns also zwei Leuchtpunkte in verschiedenen Abständen vom Auge so weit von einander entfernt, dass ihre Brennpunkte im Auge zwar hinter einander liegen, aber wegen ihrer länglichen Form unmittelbar an einander gränzen, so kann die Netzhaut ohne irgend eine Accommodationsveränderung beide deutlich empfinden, wenn ihre empfindende Fläche in der Berührungsstelle beider Brennpunkte liegt; der Focus des entfernteren Gegenstandes trifft sie noch mit seinem hinteren Ende, der des näheren mit seinem vorderen Anfang. Liegen die Gegenstände so weit von einander entfernt, dass ihre Brennräume a b und c d sich nicht berühren, sondern durch einen Zwischenraum b c von einander getrennt sind, so ist doch nothwendig die Entfernung



ihrer äussersten Gränzen b c weit geringer, als wenn die Strahlen der beiden Leuchtpunkte in zwei geometrischen Punkten a und c vereinigt würden. Ist also das Auge im ruhenden Zustand auf den ferneren Punkt accommodirt, liegt also die Netzhaut zwischen a und b oder in b selbst, so bedarf es nur eines geringen Vorrückens der Krystalllinse, um c d so weit nach vorn zu schieben, dass c auf b, also auch auf die

1) Volkmann, a. a. O. p. 290.

Netzhaut fällt, während bei punktförmiger Vereinigung der Strahlen eine grosse Verschiebung der Linse nöthig wäre, um c nach a zu bringen.

Wenn wir oben immer von einer punktförmigen Vereinigung der Lichtstrahlen sprachen, und die längliche Gestalt des Focus vernachlässigten, so geschah dies, um die Einsicht in die dioptrischen Gesetze des Auges nicht zu erschweren, welche durch diese Thatsache nicht wesentlich verändert werden.

Ein zweiter Umstand, welcher eine Reduction der früheren Angaben über die Grösse der zur Accommodation erforderlichen Linsenverschiebung erfordert, ist die neuerdings durch Senff erwiesene grössere Brechungskraft der Linse [1]).

Drittens ist zu bedenken, dass auch die Empfindlichkeit der Netzhaut für die Vollkommenheit der Vereinigung der Strahlen keine absolute ist, sondern eine endliche Gränze hat, welche durch die Grösse ihrer einzelnen empfindenden Punkte gesetzt ist. Mag man nun als empfindende Punkte, welche Elemente der Netzhaut man wolle, betrachten, so ist doch so viel gewiss, dass dieselben nicht von unendlicher Kleinheit, sondern von einem gewissen messbaren Umfang sind. Zwei Lichteindrücke, die ein und dasselbe Empfindungselement gleichzeitig treffen, werden nicht gesondert wahrgenommen; es wird aber auch ein einzelner Lichteindruck auf gleiche Weise, gleich deutlich empfunden werden, wenn er wirklich ein punktförmiger, die Vereinigung der Strahlen eine vollkommne ist, oder wenn er einen verschwindend kleinen Zerstreuungskreis bildet, sobald nur der Durchmesser des letzteren den Durchmesser des empfindenden Punktes nicht an Grösse übertrifft; hiermit ist wieder, wenn auch eine geringe Beschränkung der Grösse der Accommodationsanstrengung, der Linsenverschiebung, gewonnen. — Das Endergebniss unserer ausführlichen Betrachtungen über das Accommodationsvermögen des Auges lässt sich nach dem Gesagten kurz dahin aussprechen: Es muss eine Veränderung im Auge vor sich gehen, welche dasselbe zum Deutlichsehen in verschiedenen Entfernungen einrichtet; worin dieselbe besteht, lässt sich noch nicht mit

1) Volkmann, a. a. O. p. 289.

völliger Gewissheit nachweisen; das wahrscheinlichste Mittel für die Anpassung des im ruhenden Zustand für die Ferne accommodirten Auges für die Nähe besteht in einer Verschiebung der Linse nach vorn. Durch welche Mittel diese wiederum hervorgebracht wird, ist uns ebenfalls noch unbekannt. —

Nur wenige Bemerkungen müssen wir hier über die einseitigen Störungen des Accommodationsvermögens beifügen, welche mit Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit bezeichnet werden. Das kurzsichtige Auge ist für die Nähe accommodirt, vermag sich aber nicht gehörig für die Ferne zu accommodiren, sieht daher entferntere Gegenstände undeutlich; umgekehrt ist das weitsichtige Auge für die Ferne accommodirt, kann sich aber nicht für die Nähe accommodiren. Behalten wir die oben erörterte Anschauungsweise bei, dass die Netzhaut für nahe Gegenstände nach hinten, für ferne nach vorn geschoben werde, so liegt die Netzhaut des kurzsichtigen Auges zu weit nach hinten im Brennpunkt der nahen Strahlen, kann aber nicht genügend vorgerückt werden, um den Brennpunkt der fernen Strahlen, die sich der Linse näher vereinigen, in ihre Ebene fallen zu lassen. Umgekehrt liegt die Netzhaut des weitsichtigen Auges zu weit nach vorn, kann nicht genügend zurückgeschoben werden in die Ebene des Brennpunktes der nahen Strahlen. Im kurzsichtigen Auge werden daher von fernen Gegenständen Zerstreuungskreise gebildet durch die hinter ihrer Vereinigung divergirenden Strahlen, im weitsichtigen Auge von nahen Objecten durch die noch nicht vereinigten convergirenden Strahlen (vergl. die Figuren auf pag. 517). Von den Ursachen, welche diese Fehler herbeiführen, deren Betrachtung in die Pathologie gehört, erwähnen wir nur zwei: die Gewöhnung und das Alter. Anhaltende und angestrengte Beschäftigung mit Nahesehen bei mangelnder Uebung im Accommodiren für die Ferne macht kurzsichtig, die umgedrehte Gewöhnung weitsichtig; daher so viel kurzsichtige Gelehrte, aber weitsichtige Jäger u. s. w. Im Alter wird das Auge in der Regel weitsichtig. Sehr häufig sind nicht beide Augen einer Person gleich in Bezug auf ihre Sehweite, das eine kurz- oder weitsichtiger, als das andere. Die optische Begründung der Wirksamkeit von Brillen zur Correction dieser Fehler liegt auf der Hand. Das kurzsichtige Auge bedarf zum Deutlichsehen in die Ferne einer Zerstreuungslinse (eines Concavglases), damit die Strahlen ferner Objecte, welche sich vor der Netzhaut vereinigen, etwas zerstreut und dadurch ihr Vereinigungspunkt nach hinten verschoben wird. Das weitsichtige Auge bedarf zum Nahesehen einer Sammellinse (eines Convexglases),

damit der **hinter** die Netzhaut fallende Vereinigungspunkt naher Strahlen durch stärkere Brechung derselben etwas nach vorn verlegt wird.

§. 132.

Nachdem wir nun somit die Dioptrik des Auges vollendet, die Lichtstrahlen auf ihrem Wege durch die brechenden Medien des Auges begleitet, ihre Veränderungen auf diesem Wege, ihre Vereinigung hinter dem Auge, die Entstehung des kleinen verkehrten Netzhautbildes erörtert und die Mittel erwogen haben, durch welche die Congruenz dieser Bilder mit der empfindenden Netzhautebene erzielt werden kann, wenden wir uns zu dem rein physiologischen Theil der Lehre vom Sehen, d. h. zu dem Sehen selbst, zu der Reaction der Nervenhaut gegen die empfangenen Lichteindrücke und den daraus resultirenden bewussten Gesichtsempfindungen.

Leider müssen wir die Beantwortung der ersten und wichtigsten hierhergehörigen Frage schuldig bleiben, wie bei allen den früher betrachteten Sinneswahrnehmungen; wir wissen nicht, welche Veränderung in den empfindenden Elementen der Netzhaut durch den Lichteindruck hervorgerufen wird, in welcher Weise diese Veränderung durch die leitenden Sehnervenfasern zu den Centralorganen fortgeleitet wird, wie sie dort die Entstehung der bewussten Empfindung vermittelt. Wir können nur die Ursache und das Endresultat der Gesichtsempfindung, d. h. die Anschauungen, in welche wir durch psychische Action die Mittheilungen der Netzhaut verwandeln; welche Vorgänge in Retina, Sehnerv und Gehirn aber aus dem verkehrten kleinen Netzhautbild einer Flamme die bewusste Wahrnehmung der aufrechten Flamme, ihrer Form, Grösse, Entfernung u. s. w. machen, wie das sorgfältig durch die complicirten dioptrischen Medien auf die Netzhautfläche geworfene treue Bild des äusseren Objectes durch die im Sehnerv eng zusammengepackten, aus ihrer Anordnung an der empfindenden Fläche gebrachten Fasern so fortgeleitet wird, dass Punkt für Punkt in ihrer natürlichen Anordnung im Gehirn wieder repräsentirt ist, so dass das Bild als solches und nicht ein Chaos von Licht- und Farbeeindrücken empfunden wird, ist uns ebenso ein Räthsel, wie

die Verarbeitung einer Schallwelle, die an den Hörnerv herantritt zur Empfindung eines bestimmten Tones. Kennen wir aber auch das Wesen der Empfindung nicht, so haben wir doch bis zu einem gewissen Grade, bis auf gewisse noch nicht ausgefüllte Lücken die Erscheinungen der unbekannten Netzhautaction und ihrer Wechselwirkung mit den Centralorganen so wie die physikalischen und physiologischen Gesetze dieser Erscheinungen erforscht. Vieles bleibt noch zu lichten übrig, manche der hierhergehörigen Lehren, die bis jetzt noch rein metaphysisch ist, muss erst noch auf sicheren physiologischen Boden übergepflanzt werden.

§. 133.

Die Netzhaut beurkundet ihren Erregungszustand durch die Empfindung von Licht, ihren Ruhezustand durch die Empfindung von Dunkelheit; mit andern Worten, die Erregung der Nervenhaut wird durch die Centralorgane als Licht wahrgenommen, wir empfinden nicht unmittelbar das äussere durch die dioptrischen Medien in das Auge geschickte Licht, sondern nur den Zustand oder die Veränderung, welche gewisse Elemente der Netzhaut durch das sie treffende Licht erleiden, ebenso wie wir die Schallwelle nicht unmittelbar hören, sondern nur die Veränderung zum Bewusstsein gebracht wird, welche in den Faden des Hörnerven in Schnecke und Vorhof durch die Schallschwingungen der sie umgebenden Gebilde hervorgerufen wird. Der beste Beweis für diesen Satz liegt in der Thatsache, dass es nicht allein die von aussen kommenden Lichtstrahlen sind, welche Lichtempfindung erzeugen, sondern dass auch die Erregung der Netzhaut durch anderweitige Reize, welche mit den Undulationen des Lichtäthers nichts gemein haben, als Licht empfunden wird. Druck auf das geschlossene Auge bewirkt die Empfindung lichter feuriger Figuren, der Durchgang eines elektrischen Stromes durch das Auge erzeugt die Wahrnehmung feuriger Blitze. Fährt man in einem dunklen Zimmer mit einem Licht längere Zeit dicht vor dem Auge hin und her, so erscheint sehr bald in dem lichten Sehfeld eine dunkle baumartig verzweigte Figur, das Bild der Netzhautgefässe (Purkinje), ein

sicherer Beweis, dass wir nicht das Licht unmittelbar, sondern nur die durch das Licht erregten Netzhautparthieen empfinden, während die von Gefässen bedeckten Netzhautparthieen nicht erregt, also auch nicht als Licht, sondern als Dunkelheit empfunden werden.

Der physiologische Reiz, d. h. diejenige Veränderung in der Aussenwelt, durch welche die Netzhaut erregt zu werden bestimmt ist, sind die Undulationen des allgemein verbreiteten Lichtäthers. Eine einzige Welle dieses Aethers erregt keine Lichtempfindung, sondern nur eine gewisse Anzahl mit gewisser, sehr grosser Geschwindigkeit sich folgender Wellen.

Den physikalischen Modificationen dieser Aetherschwingungen entsprechend, werden in der Netzhaut verschiedene Veränderungen hervorgerufen, durch sie verschiedene Empfindungen vermittelt. Die Art der Netzhauterregung hängt zunächst von der Wellenlänge und der daraus resultirenden Geschwindigkeit jener Undulationen ab, die Zahl der sie in bestimmter Zeit treffenden Lichtwellen bedingt die verschiedenen Farbenempfindungen. Wird die Netzhaut in einer Sekunde von 439 Billionen Schwingungen, d. i. von Wellen, deren jede 0,0007 Millimeter lang ist, getroffen, so wird sie in einen Erregungszustand versetzt, der die Empfindung der r o t h e n Farbe hervorruft; bei 697 Billionen Schwingungen in der Sekunde und einer Wellenlänge von 0,0006 Millimeter, vermittelt sie die Empfindung des V i o l e t t s u. s. w. Treffen gleichzeitig auf gleiche Stellen der Retina Lichtätherwellen von verschiedener Geschwindigkeit und Länge, so wird jene in einer Weise erregt, welche die Empfindung einer M i s c h f a r b e bedingt; so entsteht die Empfindung des Grün bei gleichzeitigen Einwirkungen von zwei verschiedenen Schwingungen, die bei gesonderter Einwirkung, die einen die blaue, die andern die gelbe Farbenempfindung, erzeugen würden. Gleichzeitiges Einwirken aller der durch Geschwindigkeit und Wellenlänge verschiedenen Schwingungsarten, welche die Physik nachgewiesen hat, erzeugt die Empfindung der w e i s s e n Farbe. Treffen die verschiedenen Undulationen gleichzeitig aber neben einander die Netzhaut, verschiedene Stellen derselben, so werden gleichzeitig die ihrer Erregungsweise entsprechenden Farbenempfindungen ohne Ver-

mischung wahrgenommen; die verschiedenen Erregungszustände der verschiedenen Netzhautparthieen kommen gleichzeitig ohne Verschmelzung zum Bewusstsein, sobald nur die verschieden erregten Stellen, wenn sie neben einander liegen, an Umfang die Grösse eines Empfindungsindividuums, d. h. eines einzelnen empfindenden Punktes der Netzhautoberfläche übertreffen. Treffen zwei verschiedene Undulationen getrennt neben einander die Netzhaut, aber so nahe zusammen, dass die Eindrücke noch innerhalb eines und desselben empfindenden Punktes liegen, so entsteht eine gemischte Empfindung, eine Mischfarbe, ebenso wie wenn sich die Eindrücke vollkommen deckten. Aus eben diesem Grunde werden wir auch trotz der unvollkommnen Achromasie des Auges einen weissen Lichtstrahl, dessen Farbenstrahlen etwas auseinander gebrochen werden, dennoch weiss sehen, sobald der farbige Zerstreuungskreis den Umfang eines solchen Empfindungselementes der Netzhaut nicht übertrifft.

Aus dem Erörterten geht hervor, dass die Netzhaut durch die Lichtwellen in einer ganz entsprechenden Weise in ihren physiologischen Erregungszustand versetzt wird, wie der Hörnerv durch die Schallwellen; hier wie dort ist die Art der resultirenden Empfindung verschieden nach den messbaren räumlichen und zeitlichen Unterschieden der einwirkenden Wellen. Dass auch für die Intensität der Lichtempfindung analoge Gesetze wiederkehren, wie für die Intensität der Schallempfindung, ist leicht einzusehen. Wir sehen aber auch aus dem Gesagten, dass die Farbe ebenso wenig als eine den Lichtätherschwingungen an sich adhärirende Eigenschaft zukommt, als der Ton den Schallwellen, sondern nur das Produkt der Wechselwirkung zwischen Netzhaut und Sensorium einerseits und Undulationen des Lichtäthers von bestimmter Länge und Schnelligkeit andererseits ist. Die Wellenlänge ist eine wirkliche Eigenschaft jener Schwingungen, die Farbe bezeichnen wir nur fälschlich als solche, weil wir bei unseren sinnlichen Wahrnehmungen überhaupt ohne weitere Hülfsmittel Eigenschaft des einwirkenden Objectes und Aeusserung der unbewussten Reaction unseres Sinnesorgans gegen diese Einwirkung nicht zu trennen vermögen. Ebenso versetzen wir fälschlich den Ton nach Aussen

und vindiciren ihn den Schallwellen selbst als Eigenschaft. Ohne Gehörorgan hätten aber weder die Schallwellen einen Ton, noch die Lichtwellen eine Farbe; dessen müssen wir uns bewusst werden, wenn wir, wie auch in der Sprache der Physik, die Undulationen des Aethers als rothes, gelbes, blaues Licht kurz bezeichnen und selbst von grünen Strahlen sprechen, auch dann, wenn die grüne Farbe nur das Produkt von zwei differenten Schwingungen bei ihrem gleichzeitigen Zusammentreffen mit der Nervenhaut des Auges ist. Eine Menge von Thatsachen und Gesetzen, welche die Farben betreffen, z. B. die Lehre von den Complementärfarben müssen wir füglich als aus der Physik bekannt voraussetzen, in der sie ausführlich erörtert werden, obwohl sie aus den angeführten Gründen, streng genommen, Eigenthum der Physiologie sind.

§. 134.

Von der Dauer der Netzhauterregung.

Wie wir oben pag. 328 bei der Betrachtung des Tastsinnes sahen, dass die durch einen äusseren Eindruck hervorgerufene Erregung der Tastnerven eine gewisse messbare Dauer hat, d. h. die Einwirkung des Eindruckes nur eine gewisse Zeit überdauert, nicht momentan mit dem Aufhören derselben verschwindet, so kehrt eine ähnliche Erscheinung bei der Erregung der Netzhaut durch Lichtwellen wieder, und zwar in noch höherem Grade. Die Beweise dafür liegen in ganz alltäglichen, jedem Laien bekannten Thatsachen. Nimmt man einen an der Spitze glimmenden Span, und bewegt ihn langsam hin und her, so ist das Auge im Stande, die feurige Spitze Schritt für Schritt zu verfolgen, an jeder Stelle der Bahn das der Gestalt des glimmenden Theiles genau entsprechende Bild aufzufassen; bewegt man den Span aber mit einer gewissen Geschwindigkeit hin und her, so erblickt man den Bahnen desselben entsprechende feurige Linien, dreht man ihn im Kreise, einen feurigen Kreis. Die Erklärung dieser Erscheinung ist einfach die, dass die Empfindung, welche der Leuchtpunkt von einer Stelle seiner Bahn aus auf der Netzhaut erregt hat, noch nicht

vorüber ist, wenn er selbst schon auf seiner Bahn weiter fortgeschritten ist und von den übrigen Punkten derselben aus neue Eindrücke auf die Netzhaut gemacht hat; das Auge empfindet gleichzeitig eine fortlaufende Reihe von Lichteindrücken, deren letzter durch den Leuchtkörper im Moment hervorgerufener eben beginnt, während die durch denselben vorher erzeugten in der Empfindung noch nicht verklungen sind. Je heller der leuchtende Körper, je dunkler der Hintergrund, je intensiver daher die Erregung der Netzhaut, desto nachhaltiger ist die Empfindung, bei desto geringerer Geschwindigkeit kömmt daher die Wahrnehmung der Bahn des Körpers als continuirlicher leuchtender Streifen zu Stande. Man kann begreiflicherweise aus solchen Experimenten die Dauer der Netzhauterregung berechnen; dreht man einen leuchtenden Körper, wie ein Stück glühender Kohle, an einem Draht so rasch im Kreis, bis eben die Erscheinung eines geschlossenen feurigen Kreises eintritt, so entspricht die Zeit, welche die Kohle zu einem Umlauf braucht, dem gesuchten Werthe. Derartige Versuche haben ergeben, dass die Dauer der Netzhauterregung, d. h. die Zeit, um welche dieselbe den Eindruck selbst überdauert, im günstigsten Falle etwa $\frac{1}{2}$ Sekunde beträgt, bei geringer Intensität des Eindrucks aber, bei gleichzeitiger Einwirkung von anderweitigem Licht auf die Netzhaut, geringer ausfällt, oft nicht über $\frac{1}{10}$ Sekunde beträgt. Aus Plateau's [1]) Versuchen geht hervor, dass ausser der Intensität des Eindrucks, auch die Farbe des Objects von beträchtlichem Einfluss auf die Dauer der Nachempfindung ist, dass letztere einen grösseren Zeitraum einnimmt bei Gelb und Weiss, als bei Roth und Blau. Sehr geeignet sind analoge Versuche, um die Verschmelzung des verschiedenen farbigen Lichtes bei gleichzeitiger Einwirkung auf die Retina zu weissem Lichte, die Entstehung der weissen und der Mischfarben aus complementären und nicht complementären Farben zu zeigen. Die Versuche selbst sind aus der Physik bekannt; theilt man eine Scheibe in sieben Sectoren, und trägt in jeden derselben eine der sieben Hauptfarben ein, in welche bekanntlich das weisse

1) Plateau, Poggend. Ann. XX. p. 304.

Sonnenlicht durch die prismatische Brechung zerlegt wird, so erscheint die Scheibe bei schneller Umdrehung weiss oder wenigstens grauweiss; dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man in die Sectoren abwechselnd zwei Complementärfarben, z. B. Orange und Blau u. s. w. einträgt. Die physiologische Erklärung des Phänomens ist aus dem Obigen leicht zu entnehmen. Dreht sich die Scheibe mit einer Geschwindigkeit, welche der Dauer der Netzhauterregung durch die einzelnen Farben gleichkommt, oder dieselbe übertrifft, so klingt die Empfindung der ersten Farbe, z. B. des Rothes in dem einen Sector noch nach, nachdem nicht nur das folgende Orange seine Strahlen auf die Retina geschickt, sondern auch bereits alle übrigen Farben bis zum äussersten Violett durch die Netzhaut zur Empfindung gebracht sind und die rothen Strahlen bereits selbst wieder die Netzhaut treffen. Auf diese Weise müssen sich nothwendig die einzelnen Empfindungen decken, die einzelnen Farben können nicht mehr gesondert wahrgenommen werden, sondern nur das Resultat ihrer gemeinschaftlichen Erregung der Netzhaut und das ist die weisse Farbe. Herrscht eine der einzelnen Farben vor, sind z. B. mehrere Sectoren von ihr erfüllt, so bedingt sie bei der Drehung der Scheibe die Empfindung einer ihrer Art und dem Grade ihres Vorherrschens entsprechenden Mischfarbe, wie sie die Physik kennen lehrt.

Auf diese Nachdauer der Netzhauterregung sind eine Menge von bekannten Erscheinungen zurückzuführen, deren ausführliche Aufzählung uns hier zu weit führen würde. Es gehört hierher die Erscheinung des Blitzes als feuriger Streifen, die scheinbare Verwandlung eines Speichenrades in eine solide Scheibe bei rascher Umdrehung; aus demselben Grunde sehen wir, wenn wir aus einem sehr rasch fahrenden Dampfwagen auf den Boden herabblicken, bandartige continuirliche Streifen neben dem Gleis hinlaufen, welche von den sich deckenden Eindrücken der einzelnen Steinchen u. s. w. des Weges herrühren.

§. 135.

An die Betrachtung der unter allen Umständen eintretenden Nachempfindung von gewisser Dauer, von welcher wir im vorigen Paragraphen gehandelt haben, knüpft sich die Erör-

terung einer verwandteen optischen Erscheinung, der sogenannten Nachbilder, welche nur unter gewissen Bedingungen auftreten, und zwar auch auf einer selbstständigen Thätigkeit der Netzhaut beruhen, aber doch grösstentheils nicht in einer gleichmässigen Fortdauer der primären Erregung durch einen äusseren Lichteindruck, sondern in dem Eintreten einer secundären subjectiven Empfindung, welche in der Regel der primären gerade entgegengesetzt ist, bestehen. Wir werden ferner sehen, dass das Wesen einer Reihe hierhergehöriger Erscheinungen darin besteht, dass nicht nur die durch den primären Eindruck erregte Empfindung nicht fortdauert, sondern die Netzhaut sogar in Folge von Ermüdung eine Zeit lang für denselben unempfindlich ist, durch denselben nicht wieder aufs Neue in den ihm entsprechenden Erregungszustand versetzt wird, um so leichter aber durch andere demselben entgegengesetzte.

Betrachtet man anhaltend eine hellbeleuchtete Fläche mit dunkler Zeichnung, am besten den hellen Himmel, durch ein Fenster, dessen Kreuz dann dunkel erscheint, und schliesst dann die Augen fest, so dass auch durch die Augenlider kein Licht mehr hineinfällt, so erblickt man zuweilen ein subjectives Nachbild ganz in der natürlichen Beleuchtung, also helle Fensterscheiben mit dunklem Kreuz. Dreht man sich aber nach andauernder Fixirung desselben Fensters, anstatt die Augen zu schliessen um, und betrachtet die Hinterwand des Zimmers, so erscheint das Nachbild des Fensters in umgekehrter Beleuchtung, d. h. ein helles Fensterkreuz mit dunklen Scheiben. Sieht man eine Zeit lang in die Sonne, so erscheint im geschlossenen Auge ein lichtes, auf einer weissen Fläche dagegen ein schwarzes oder graues Nachbild der Sonne, welches oft sehr lange anhält, und nach dem Verschwinden mehrmals wiederkehrt. Man erklärt das Umdrehen der Beleuchtung der Nachbilder folgendermaassen: Hat man die Sonne starr betrachtet, so tritt sehr bald in den durch die blendende Helligkeit überreizten Retinaparthieen ein Zustand von Erschöpfung, Ermüdung ein, so dass sie einige Zeit lang, welche zur Erholung erforderlich ist, durch anderes weisses Licht, also das der Wand, gegen welche man das Auge kehrt, nicht in den der weissen Farben-

empfindung entsprechenden Erregungszustand versetzt werden können; die ermüdeten Netzhautstellen, welche der Stelle, wohin das Sonnenbild fiel, entsprechen, reagiren daher nicht gegen die weissen Strahlen, und so entsteht eine dunkle Lücke in dem Netzhautbild der betrachteten weissen Wand, d. i. das dunkle subjective Nachbild der Sonne. Umgekehrt sind die Stellen, auf welche z. B. beim Betrachten des Fensters, das dunkle Kreuz fiel, welche daher wenig erregt wurden, in Folge der Ruhe weit empfänglicher für helles Licht, werden daher durch das weisse Licht der Wand lebhaft erregt, und so erscheint das lichte Nachbild des dunklen Objects. Nicht immer erscheint das Nachbild sehr heller farbloser Objecte hell auf dunklem Grunde und dunkel auf hellem Grunde; hat man die Sonne möglichst anhaltend betrachtet, und sieht dann auf eine weisse Wand, so erscheint das Nachbild im ersten Moment schwarz, nimmt aber allmälig eine Reihe von Färbungen in folgender Reihenfolge an, blau, grün, gelb, weiss, wird also abgesehn von der Farbe immer lichter, bis die Farbe der Wand selbst wahrgenommen wird: umgedreht färbt sich das Nachbild auf dunklem Grunde in folgender Ordnung vom ursprünglichen Weiss bis zum objectiven Schwarz des Grundes selbst: weiss, gelb, orange, roth, violett, blau, schwarz. Dieses Phänomen liefert den entschiedensten Beweis für den oben ausgesprochenen Satz, dass die Farben nicht objectiv, sondern nur Erscheinungsformen verschiedener Erregungszustände der Retina in der Empfindung sind. Diese Erregungszustände sind nicht nur der Art nach, sondern auch der Intensität nach verschieden, d. h. die Empfindung des Blau entspricht einer weit geringeren Erregung, als die des Roth und noch mehr die des Gelb und Weiss. Jene allmälig auftretenden verschiedenen Färbungen des Nachbildes bezeichnen daher die verschiedenen Erregungszustände, welche die Netzhaut während der Erholung durchläuft, bis sie beim ersten Falle wieder im Stande ist, durch die weisse Farbe der Wand in normaler Weise erregt zu werden, im zweiten Falle so ruhig geworden ist, dass auch die gereizten Partieen wie die anderen den dunklen Grund als Schwarz empfinden.

Eine weitere hierher gehörige Erscheinung ist das Auftreten von gefärbten Nachbildern nach der Betrachtung farbiger Objecte, wobei das Nachbild die Complementärfarbe von der des ursprünglichen Objectes zeigt. Nach anhaltender Fixation eines gelben Objectes erscheint regelmässig ein violettes Nachbild, nach einem rothen Bild ein grünes Nachbild, nach einem blauen Bild ein orangefarbiges Nachbild. Blickt man anhaltend auf eine rothe Scheibe auf weissem Grunde und wendet dann das Auge auf eine freie Stelle des Grundes, so erscheint darauf ein grünes Nachbild von derselben Gestalt und Grösse, wie das reelle rothe Object; dieselbe Erscheinung zeigt sich auch, doch schwieriger, auf schwarzem Grunde. Blickt man von dem rothen Object nach anhaltender Betrachtung nur wenig zur Seite, so deckt ein Theil des entstehenden grünen Nachbildes einen Theil des Bildes vom ursprünglichen Object. Da Grün und Roth Complementärfarben sind, sollte man erwarten, dass die Stelle, wo das rothe Object und das grüne Nachbild sich decken, weiss erscheinen müsste, und in der That erhält diese Stelle eine grauliche Färbung; da indessen der Eindruck des reellen rothen Objectes intensiver ist, als die Empfindung des subjectiven grünen Bildes, so herrscht das Roth an dieser Stelle vor. Hat man aber neben einander ein rothes und ein grünes Object, blickt beide längere Zeit abwechselnd an, so erscheint das Nachbild allerdings, wenn auch nicht vollkommen weiss, doch grau, sobald man auf eine andere Stelle blickt; sind die beiden Objecte verschieden, aber nicht complementär gefärbt, so trägt das Nachbild die Mischfarbe beider. Häufig treten auch complementäre Farbensäume um farbige Objecte auf, ohne dass man mit Bewusstsein den Blick verrückt. Betrachtet man anhaltend eine rothe Scheibe auf weissem Grunde, so erblickt man sie nach einiger Zeit mit einem grünen Saum. Ich habe mich überzeugt, dass dieser Saum nur zum Vorschein kommt, wenn man die Aufmerksamkeit, die man vorher dem Centrum des Objectes zugewendet hat, auf den Rand lenkt; und zwar erblickt man ihn nur an dem gerade fixirten Randtheil. Jedenfalls sind mit dieser Ablenkung der Aufmerksamkeit kleine Verrückungen des Augapfels verbunden, so dass

ein Theil des das farbige Object zunächst umgebenden weissen Lichtes auf einen Theil der Netzhaut fällt, der vorher noch von rothem Licht afficirt war, auf welcher Netzhautparthie sodann das Nachbild als complementärer Farbensaum erscheint.

Man hat dieses Auftreten von farbigen complementären Nachbildern nach Betrachtung farbiger Objecte verschieden zu erklären versucht. Man sagte, dass durch die anhaltende Fixirung eines farbigen, z. B. rothen Gegenstandes die Netzhaut für den Eindruck dieser Farbe ermüdet werde, und daher, wenn sie sodann auf Weiss blicke, für die im weissen Licht enthaltenen rothen Strahlen nicht mehr empfänglich sei, sondern blos noch durch die darin enthaltenen zu Roth complementären grünen Strahlen erregt werde, nur diese zur Empfindung bringe. J. Müller [1]) wendet gegen diese Erklärung die Thatsache ein, dass das complementäre Nachbild häufig auch erscheint, wenn man von dem farbigen Object hinweg auf schwarzen Grund blickt, woraus sich die rein subjective Natur des Nachbildes ergiebt. Man stellt sich daher vor, dass die Netzhaut, wenn sie anhaltend in einen bestimmten, einer bestimmten Farbe entsprechenden Erregungszustand versetzt wird, dadurch eine Tendenz erlangt, in den entgegengesetzten Erregungszustand, welcher der complementären Farbe entspricht, überzugehen. Für letztere Erklärung, für die Begründung des Nachbildes in einer ganz selbstständigen Netzhautthätigkeit spricht besonders auch eine Beobachtung von Plateau [2]). Er bemerkte nämlich, dass zuweilen beim Erlöschen des farbigen Nachbildes gewisse Schwankungen in der Art eintreten, dass es zeitweilig die Farbe des ursprünglichen Objectes, dann wieder die Complementärfarbe annimmt, und so wiederholt zwischen beiden wechselt, bis es endlich völlig schwindet. Für diesen Wechsel liesse sich eine objective Begründung durch Erregung von äusserem Licht schwerlich finden.

Noch müssen wir hier kurz des bekannten optischen Phänomens

1) J. Müller, Physiol. II. p. 369. — 2) Plateau, *Ann. d. chim. et d. phys. LIII. p.* 386.

der farbigen Schatten Erwähnung thun. Stellt man auf eine weisse Platte einen Stab und ein rothes Licht so davor, dass der Stab einen Schatten auf die weisse Platte wirft, so wird dieser Schatten, wenn er von farblosem (Tages)Licht beleuchtet wird, grün, also in der complementären Farbe zu Roth erscheinen. Man hielt diese complementäre Färbung des Schattens früher für objectiv, da sie indessen verschwindet (Rumford), wenn man den fraglichen Schatten isolirt, ohne die roth beleuchtete Fläche zu sehen, (durch eine Röhre) betrachtet, so ergiebt sich, dass wir es auch hier mit einer subjectiven Thätigkeit der Netzhaut zu thun haben.

Alle die beschriebenen Nachbilder kommen nicht gleich leicht bei allen Personen zu Stande, viele lernen sie erst durch Uebung wahrnehmen, andere gar nicht, am leichtesten werden noch die zuerst beschriebenen farblosen Nachbilder nach farblosen hellen oder dunklen Objecten wahrgenommen, weit schwieriger dagegen die farbigen. Manche können nur gewisse Complementärfarben wahrnehmen, die übrigen dagegen nicht.

Es hängt dies wohl mit der Unempfindlichkeit für Farbenempfindungen zusammen, die wir bei vielen Personen in höherem oder geringerem Grade antreffen, welche ebenfalls häufig durch Uebung verbessert und in eine ausserordentlich feine Unterscheidungsgabe für die verschiedenen Farben verwandelt werden kann. So giebt es Personen, welche gewisse Farben, wie z. B. Orange und Gelb, oder nur einzelne Nuançen, wie Hell-Orange, Grünlich-Gelb, Bräunlich-Gelb, reines Gelb nicht unterscheiden können, mit einander verwechseln, oder wohl gar eine ganze Reihe der Farben des Spectrums gar nicht aufzufassen vermögen, mit Grau zusammenwerfen. Man nennt diesen Fehler Achromatopsie oder Daltonismus, (weil der englische Physiker Dalton an diesem Fehler litt).

Fälle der Art finden sich gesammelt bei Szokalsky [1]) und d'Hombres Firmas [2]); am Ausführlichsten hat sich Seebeck [3]) damit beschäftigt, und eine Menge sorgfältiger physikalischer Experimente darüber angestellt.

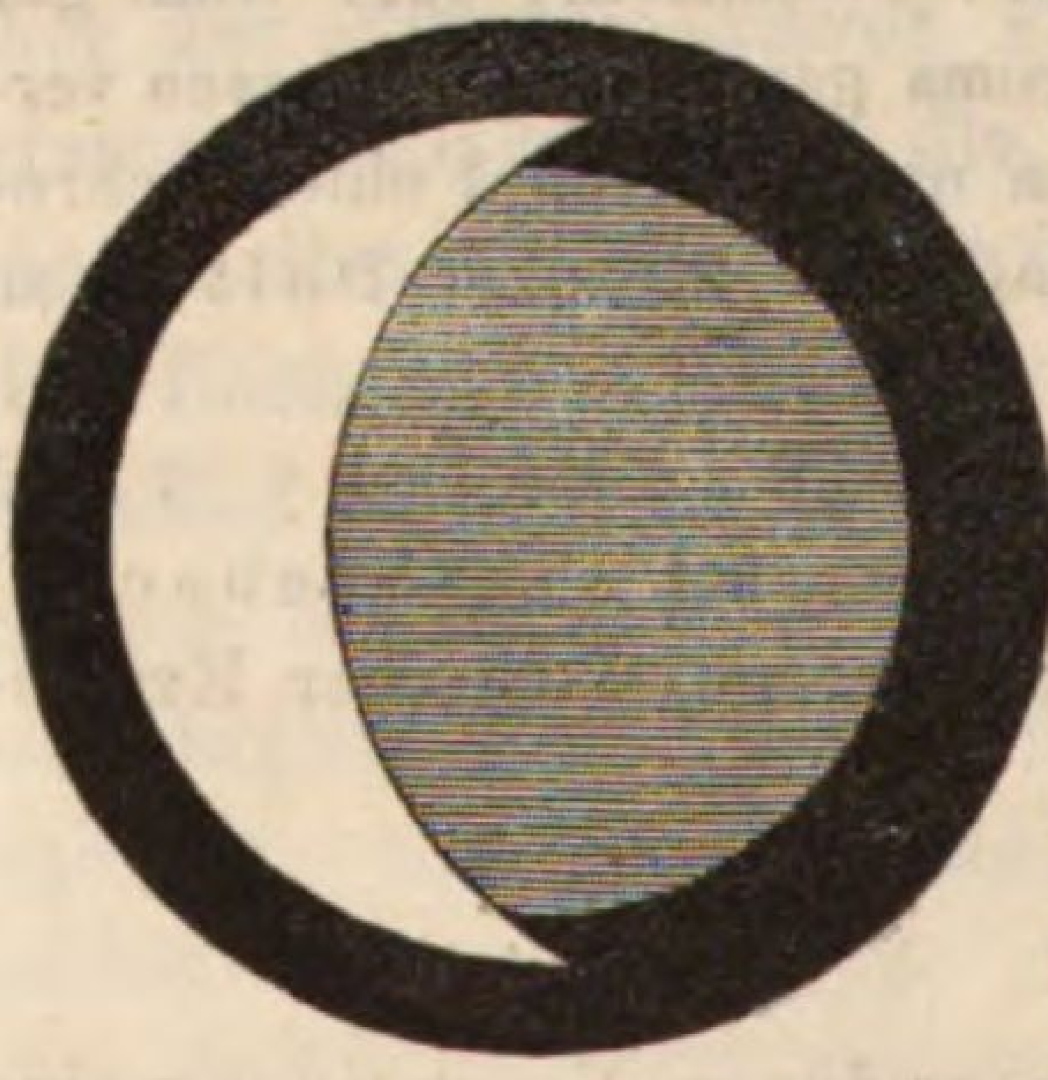
§. 136.

Wir wenden uns jetzt zu einer anderen Erscheinung des Sehens, welche zwar streng genommen nicht hierher, sondern

---

1) Szokalsky, über die Empf. der Farben in physiol. Bez. Giessen 1842. — 2) d'Hombres Firmas, *Compt. rend. XXIX. p.* 175. — 3) Seebeck, Poggend. Ann. 1842. p. 177.

aus Gründen, die wir sogleich erörtern werden, in das Kapitel von der Accommodation gehört, welche wir aber doch den eben betrachteten subjectiven Netzhautreactionen anreihen, einmal weil sie auf den ersten Blick viel Aehnliches mit denselben hat, zweitens weil sie noch heute von den meisten Autoren zu denselben gerechnet, als rein subjectiv, nicht auf objectiven physikalischen Ursachen beruhend betrachtet wird. Das ist die sogenannte Irradiation. Man vertsteht unter diesem Namen die Erscheinung, dass helle Körper auf dunklem Grunde aus gewissen Entfernungen gesehen, viel grösser erscheinen, als sie wirklich sind, als sie ihrem Sehwinkel nach erscheinen sollten und unter andern Umständen, aus anderen Entfernungen auch ersckeinen. Einige Beispiele aus der alltäglichen Erfahrung werden diesen Begriff verdeutlichen. Betrachten wir am Abend eine in ziemlicher Entfernung vor uns befindliche Gaslaterne, so erscheint uns die Flamme von weit grösserem Umfang, als sie, wie wir aus anderen Beobachtungen wissen, ist, sie scheint oft das ganze Laternengehäuse auszufüllen. Betrachten wir die Mondsichel bei klarem Himmel, wo der übrige Theil der Mondscheibe als matte Fläche sichtbar ist, so scheint uns der beleuchtete Mondtheil einer Scheibe von grösserem Durchmesser anzugehören, als der nicht beleuchtete, ersterer greift am Rande über den letzteren über.



Jeden Augenblick kann man eine Irradiation beobachten, wenn man ein Damenbret etwa 20′ von sich aufstellt und betrachtet. Die weissen Felder desselben erscheinen dann weit grösser als die schwarzen, decken die letzteren theilweise, so dass die ganze Fläche wie von weissen sich kreuzenden Streifen mit kleinen schwarzen Maschenräumen überzogen erscheint. Hat man einen schwarzen Punkt von bestimmter Grösse auf weissem Felde und einen ebenso grossen weissen Punkt auf schwarzem Felde, so kann man leicht beobachten, dass, wenn man beide Objecte in einer gewissen Entfernung vom Auge neben einander aufstellt,

der schwarze Punkt auf weissem Felde gänzlich verschwindet, der weisse dagegen bedeutend grösser erscheint, als er ist. Eine weisse Scheibe erscheint oval, wenn sie an zwei diametral sich gegenüberliegenden Stellen von schwarzem Grunde umgeben ist. Hat man in ein Kartenblatt zwei Nadelöffnungen, wie zum Scheiner'schen Versuch nahe neben einander gebohrt und hält sie dicht vor das Auge, um durch sie einen hellen Gegenstand wie den Himmel zu betrachten, so verschmelzen beide Oeffnungen scheinbar zu einer einzigen oblongen, die Zwischenwand zwischen beiden wird unsichtbar. Auf gleiche Weise kann man vier und mehr solcher benachbarter Oeffnungen zu einer verschmelzen lassen. Ueber das Wesen dieser Erscheinung, welche allen diesen und unzähligen andern Thatsachen zu Grunde liegt, ist vielfach gestritten, dasselbe aber meist völlig verkannt worden [1]). Selbst Plateau [2]), welcher diesen Gegenstand am genauesten durchforscht hat, kam zu falschen Folgerungen aus seinen vortrefflichen Experimenten; dennoch ist es Plateau's Ansicht, welche noch heutzutage fast allgemein Geltung hat, fast in alle Lehrbücher der Physik und Physiologie übergegangen ist. Man hält die Irradiation für eine rein subjective Erscheinung, welche darauf beruhen soll, dass die einzelnen Netzhautparthieen, wenn sie von hellem Licht getroffen und intensiv erregt werden, die benachbarten Theilchen der Retina, welche durch das Bild nicht getroffen, in Ruhe gelassen werden, gleichsam in ihren Erregungszustand mit hineinziehen, ihre Erregung auf sie ausstrahlen, so dass sie in denselben Zustand gerathen, mithin auch die Empfindung der Helligkeit vermitteln. Einige nehmen an, dass diese Ausstrahlung der Erregung unmittelbar in der Netzhaut stattfindet, andere dagegen, z. B. Rüte [3]), rufen eine Reflexthätigkeit zu Hülfe und glauben, dass die direct vom hellen Licht getroffenen Retinatheile den Eindruck erst zum Gehirn leiten und dort erst die Uebertragung desselben

1) Ein sehr ausführlicher kritischer Ueberblick der ganzen Geschichte dieser Streitfrage findet sich bei: Welcker, über Irradiation und einige andere Erschein. des Sehens. Inaugural-Abh. Giessen 1832. — 2) Plateau, Poggend. Ann. 1842. Suppl. p. 79, 193, 405. — 3) Rüte, Lehrb. der Ophthalm. 1845. p. 19.

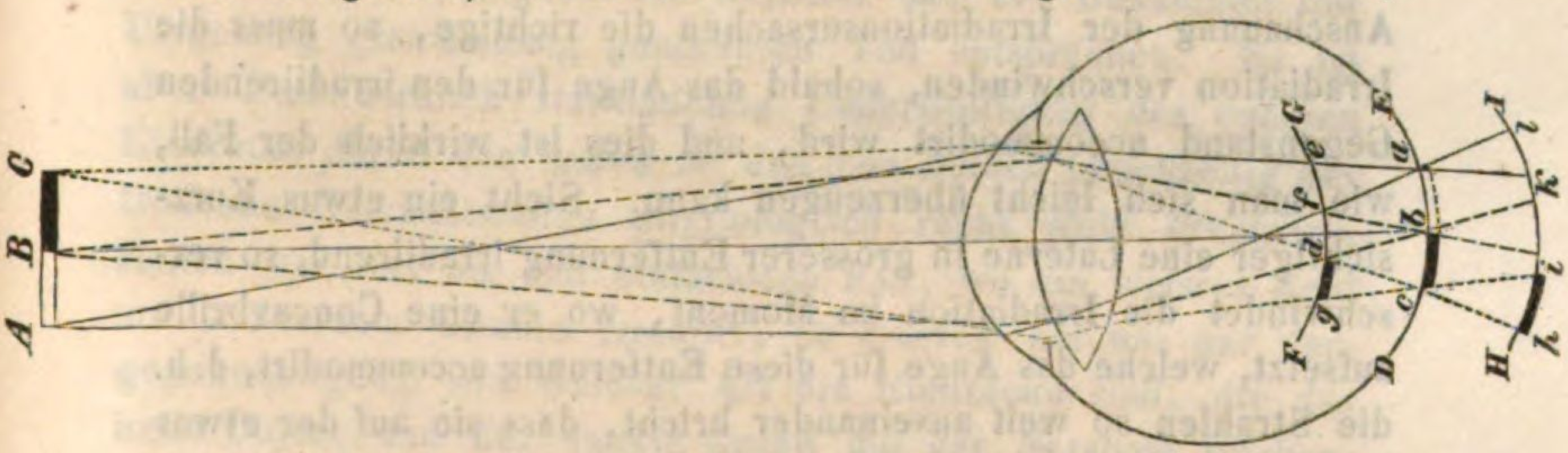
auf die Nachbarelemente stattfinde. Rüte, und so auch manche Andere, werfen überdiess unter dem Titel Irradiation eine Menge von Erscheinungen, zum Theil reine Hallucinationen zusammen, welche jedenfalls gar nicht dazu gehören, wie z. B. die Erscheinung von weissem Licht in dem erblindeten Auge Einäugiger. Es ist zu verwundern, dass sich diese dynamische Erklärungsweise der in Rede stehenden Erscheinung so unangefochten erhalten hat, da doch eine Menge einfacher Thatsachen und selbst alltäglicher Erfahrungen die objective Begründung derselben mehr als wahrscheinlich machen, und der vergessenen, schon 1604 von Kepler[1]) gegebenen Erklärung der Irradiation das Wort reden. Welcker[2]) gebührt das Verdienst, in neuester Zeit die alte Kepler'sche Ansicht wieder hervorgeholt, mit neuen Beweisen gestützt und die Irrthümer der Plateau'schen Theorie nachgewiesen zu haben.

Die Irradiation beruht nicht auf einer subjectiven Netzhautaction, es findet in unserem Auge unter keinen Umständen eine Ausbreitung der Lichterregung auf nicht direct vom Licht getroffne Netzhauttheilchen statt, sondern die Objecte irradiiren aus rein physikalischem Grunde, entwerfen unter gewissen Bedingungen ein irradiirendes, d. h. die ihm dem Sehwinkel nach zukommende Grösse überschreitendes Bild, welches wir, wie es ist, durch die direct davon erregten Retinaelemente empfinden. Helle Objecte auf dunklem Grunde irradiiren, indem sie bei nicht für sie accommodirtem Auge Zerstreuungskreise auf die Netzhaut werfen. Wird das Auge für sie accommodirt, so verschwindet die Irradiation.

Die erste Bedingung der Irradiation ist demnach, dass das Object auf der Netzhaut Zerstreuungskreise bildet. Wir haben bei der Lehre von der Accommodation gesehen, dass dieses auf zweierlei Weise eintreten kann. Denken wir uns das Auge für eine mittlere Entfernung accommodirt, so bilden einerseits dem

1) Kepler, *ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur. Francof.* 1604. — 2) Welcker, a. a. O.

Auge zu nahe Objecte Zerstreungskreise, indem der Vereinigungspunkt ihrer Strahlen hinter die Netzhaut fällt, diese also von den convergirenden Strahlen getroffen wird; andererseits bilden dann zu entfernte Objecte Zerstreuungskreise, indem der Vereinigungspunkt ihrer Strahlen vor die Netzhaut fällt, diese mithin von bereits wieder divergirenden Strahlen getroffen wird (vergl. die beiden Figuren auf pag. 517). Haben wir also ein Object, in welchem ein sehr heller Theil mit einem dunklen zusammengränzt, wie in der beistehenden Figur A B und B C,



so wird, wie aus der Zeichnung leicht ersichtlich ist, wenn das Auge für den Gegenstand accommodirt ist, die Netzhaut also in D E liegt, auf derselben ein scharfes Bild des Objectes in c b a entstehen. Ist das Auge aber für eine grössere Entfernung accommodirt, liegt die Netzhaut also in F G, und ist der Gegenstand mithin dem Auge zu nahe, so fallen von den einzelnen Punkten des Objectes Zerstreuungskreise der convergirenden Strahlen auf die Retina, A bildet den Zerstreuungskreis f e, B, der Gränzpunkt des hellen und dunklen Theiles d f und C, g d. Der helle B entsprechende Theil des Bildes nimmt demnach den Raum e d ein, der dunkle g f. Die Netzhautparthie d f wird daher gleichzeitig von dem hellen und dem dunklen Theil des Bildes bedeckt, die hellen Strahlen übertönen aber an dieser Stelle die dunklen, d. h. die hellen Strahlen erregen an dieser Stelle die Netzhaut, ohne dass die Intensität der Erregung durch den dunklen Theil des Bildes, welcher die Netzhaut in Ruhe lässt, wesentlich gestört wird, mithin erscheint blos der kleinere äussere Theil des Bildes g d, welcher ausschliesslich von dunklen Strahlen getroffen wird, dunkel, dagegen der grössere Theil d e hell erscheint, obwohl blos e f ausschliesslich von den lich-

ten Strahlen getroffen wird. Im Wesentlichen muss, wie die Figur von selbst ergiebt, dasselbe eintreten, wenn das Auge für eine geringere Entfernung als die des Objectes A B C accommodirt ist, die Netzhaut also in H I liegt, es müssen sich wiederum Zerstreuungskreise durch die hinter der Vereinigung divergirenden Strahlen bilden, die Zerstreuungskreise der hellen und dunklen Strahlen in i k sich decken, die hellen aber die dunklen übertönen, mithin nur der kleine Theil h i des Bildes schwarz, der grössere i l dagegen hell erscheinen. Ist diese Anschauung der Irradiationsursachen die richtige, so muss die Irradiation verschwinden, sobald das Auge für den irradiirenden Gegenstand accommodirt wird, und dies ist wirklich der Fall, wie man sich leicht überzeugen kann. Sieht ein etwas Kurzsichtiger eine Laterne in grösserer Entfernung irradiirend, so verschwindet die Irradiation im Moment, wo er eine Concavbrille aufsetzt, welche das Auge für diese Entfernung accommodirt, d. h. die Strahlen so weit auseinander bricht, dass sie auf der etwas zu weit nach hinten liegenden Netzhaut vereinigt werden. Betrachtet man einen irradiirenden Gegenstand durch eine Nadelstichöffnung in einem Kartenblatt, so verschwindet ebenfalls die Irradiation, indem durch die Ränder der feinen Oeffnung ebenfalls eine Ablenkung der Strahlen bewirkt wird. Bei weitsichtigen Personen kann die Irradiation zu naher Objecte durch Convexbrillen aufgehoben werden, welche die Strahlen auf der etwas zu weit nach vorn liegenden Netzhaut zur Vereinigung bringen.

Die zweite Bedingung, welche für das Zustandekommen der Irradiation (für das Grössererscheinen des hellen Theiles der Figur A B C) unumgänglich nothwendig ist, geht schon aus den eben angestellten Erörterungen hervor. Es muss nämlich an den Stellen, wo dunkles und helles Bild sich decken, also in d f und i k der helle Eindruck den dunkeln mehr oder weniger vollständig übertönen, sonst könnte der irradiirende Theil nicht hell wie das übrige Bild des hellen Theiles erscheinen, sondern müsste einen aus dunkel und hell gleichmässig gemischten grauen Ton zeigen, ebenso wie eine abwechselnd mit schwarzen und weissen Sectoren bemalte Scheibe bei

rascher Umdrehung grau erscheint. Eine geringe Intensitätsabschwächung zeigt der irradiirende Theil eines hellen Objectes jedesmal, der irradiirende Theil einer Lampe erscheint stets minder hell als dessen mittlerer Theil, die Sterne erscheinen besonders kurzsichtigen Augen stets von einem etwas schwächer glänzenden Rand umgeben, ebenso sind die Ränder der irradiirenden Damenbretfelder etwas matter weiss als die Centra; indessen sind diese Abschwächungen nie so bedeutend, dass sie einem aus der Helligkeit des Objectes und der Dunkelheit der Umgebung gleichmässig gemischten Ton entsprächen. Es ist aber diese wirklich stattfindende Ueberwältigung des dunklen Eindrucks durch den hellen an den von beiden gleichzeitig getroffenen Netzhautstellen physiologisch recht wohl erklärlich. Halten wir uns an den einfachsten Fall, wo ein weisses Feld auf schwarzem Grunde irradiirt, so müssen wir uns nur vergegenwärtigen, von welcher Art die Eindrücke sind, die das helle Object und der dunkle Grund auf der Netzhaut machen. Die vom weissen Object ausgesandten Strahlen werden die Netzhaut in hohem Grade erregen, während von dem schwarzen Grunde in Wirklichkeit so gut wie gar keine Strahlen ausgehen, die demselben entsprechenden Netzhauttheile so gut wie völlig in Ruhe bleiben, und eben diese Ruhe, dieser Mangel an Erregung durch Lichtstrahlen als schwarze Farbe empfunden wird. Fällt also bei der Irradiation ein Theil der weissen Strahlen auf eine Stelle, die gleichzeitig von einem Theil des schwarzen Bildes eingenommen wird, so werden sie auf diese Stelle, weil sie in Ruhe ist, ebenso einwirken, wie auf eine ruhende, von gar keinem Bild eingenommene Stelle, dieselbe also ebenfalls in einen der weissen Farbe entsprechenden, also intensiven Erregungszustand versetzen. Aus eben diesem Grunde kommt ja die Irradiation eben nur dann zur Wahrnehmung, wenn sehr hellleuchtende, also die Netzhaut intensiv erregende Objecte (bei falscher Accommodation) gegen einen sehr dunklen, also die Netzhaut mehr oder weniger schwach erregenden Grund gesehen werden; je heller das Object, je dunkler der Grund, desto beträchtlicher die Irradiation. Die Art, wie sich die Irradiation bei farbigen Objecten auf farbigem Grunde gestaltet,

liefert den besten Beweis, dass jene Uebertönung des Grundes durch das irradiirende Object in der verschiedenen Intensität der Netzhauterregung begründet ist. Wir haben bereits oben bei der Lehre von den Nachbildern pag. 544 erwähnt, dass die Undulationen des Lichtäthers von verschiedener Geschwindigkeit sich auch durch die Intensität, in welcher sie die Netzhaut erregen, unterscheiden, mit anderen Worten, dass der Empfindung der weissen und gelben Farbe ein weit intensiverer Erregungszustand der Retina entspricht, als der rothen und noch mehr als der blauen Farbe; je heller das Gelb, desto mehr wird die Intensität der Erregung gesteigert, je dunkler das Blau, desto mehr natürlich herabgesetzt. Nach der auseinandergesetzten Theorie muss daher ein farbiges Object auf farbigem Grunde irradiiren, d. h. (in seiner Farbe) grösser erscheinen, wenn seine Farbe die Netzhaut beträchtlich intensiver erregt, als die Farbe des Grundes; nur dann kann die Farbe des irradiirenden Theiles die des Grundes auf den von beiden zugleich erregten Netzhautstellen übertönen. Sind die Farben des Objectes und des Grundes gleich in Bezug auf die Intensität ihrer Einwirkung auf die Retina, so muss an den Stellen, wo beide auf der Netzhaut sich decken, eine Mischfarbe aus beiden empfunden werden, keine kann die andere übertönen. Dies ist in der Wirklichkeit der Fall, wie folgende Experimente lehren. Blau und weiss unterscheiden sich wesentlich in Bezug auf Intensität der Netzhauterregung; ein weisses Object irradiirt daher auf blauem Grunde, die weissen Strahlen überwältigen auf der Netzhautstelle, wohin auch blaue fallen, die letzteren. Blau und Roth dagegen differiren wenig in der Stärke der Retinaerregung, oder gar nicht, wenn das Blau hell und das Roth etwas dunkel ist; haben wir daher ein rothes Object auf blauem Grunde, so irradiirt weder das rothe Object über den blauen Grund, noch umgekehrt, keines erscheint grösser, sondern zwischen beiden befindet sich eine violette Schicht, (wenn die Bedingungen zur Irradiation, d. h. mangelnde Accommodation vorhanden ist), weil an den Stellen der Netzhaut, auf welche zugleich rothe und blaue Strahlen fallen, beide Farben in ihrer Erregung der Netzhaut sich das Gleichgewicht halten, keine die andere überwältigt, und

daher eine Mischfarbe aus beiden, das Violett, empfunden wird. Sind die Farben gelb und blau, so irradiirt das Gelb, wenn es heller ist als blau, sind beide Farben gleich hell, so irradiirt keine, sondern es bildet sich zwischen beiden ein grüner Streifen.

Noch müssen wir hier kurz eines optischen Phänomens gedenken, auf welches A. Fick [1]) aufmerksam gemacht, und welches derselbe physikalisch-physiologisch zu erklären versucht hat. Nach Fick erscheint dem Auge ein liegender (horizontaler) weisser Streifen auf schwarzem Grunde breiter, als ein gleich breiter stehender (verticaler), ein helles Quadrat auf schwarzem Grunde daher als aufrecht stehendes Oblongum, und zwar, wie Fick meint, bei vollkommner Accommodation des Auges. Als Ursache giebt er an, dass die brechenden Flächen des dioptrischen Apparates im Auge nicht vollkommne Kugelsegmente sind (Sturm, s. oben pag. 533), sondern der Krümmungshalbmesser des verticalen Achsenschnittes kleiner zu denken sei, und darum die Brennpunkte der von horizontalen Linien und der von verticalen Linien kommenden Strahlen nicht in einer Ebene, sondern hinter einander liegen müssten, und zwar der erstere hinter dem letzteren. Da sich nun beim Betrachten eines solchen weissen Objects das Auge unwillkührlich für die horizontalen Linien accommodire, d. h. den Focus derselben gerade auf die Netzhautebene bringe, so bilde jeder leuchtende Punkt ein längliches verticales Bild in Folge der Zerstreuungskreise, welche die in senkrechter Ebene liegenden Strahlen bilden. Bei einem Quadrat ragen daher die linearen, verticalen Zerstreuungsbilder über die horizontalen Begränzungslinien heraus, und so entsteht auf der Netzhaut das Bild eines stehenden Oblongums. Bei Beobachtung schwarzer Streifen auf weissem Grunde müsste sich eigentlich die Erscheinung umkehren, d. h. die verticalen Zerstreuungsbilder der weissen Strahlen müssten über die horizontalen Begränzungslinien der schwarzen Figuren hereinragen; da aber auch hier den meisten Personen der horizontale Streifen breiter erscheint, als der verticale, ein Quadrat ebenfalls als stehendes Oblong, so glaubt Fick, dass sich das Auge bei Betrachtung dunkler Objecte auf weissem Grunde unwillkührlich auf die verticalen Linien accommodire. — So scharfsinnig Fick seine Ansicht durchgeführt hat, so muss ihre Richtigkeit doch bezweifelt werden, da die Erscheinung nicht in gleicher Weise bei allen Personen eintritt, sondern bei vielen umgekehrt, bei andern gar nicht, noch mehr aber, da, wie Welcker [2])

---

1) A. Fick, Henle u. Pf. Ztschr. N. F. Bd. II. p. 83. — 2) Welcker, a. a. O. p. 31.

angiebt, wie ich mich ebenfalls überzeugte, die scheinbare Vergrösserung horizontaler weisser Streifen nur, wenn dieselben sich ausserhalb der Sehweite befinden, eintritt, nicht aber innerhalb der Sehweite bei vollkommener Accommodation des Auges.

Aus dem über die Irradiation Gesagten geht hervor, dass wir uns der physikalischen Erklärungsweise, welche sie auf die Entstehung von Zerstreuungskreisen und die Ueberwältigung der dunklen Eindrücke durch die hellen an den gleichzeitig von beiden getroffenen Netzhautstellen zurückführt, anschliessen; einer Erklärungsweise, welcher jedenfalls weniger Schwierigkeiten und Unwahrscheinlichkeiten entgegenstehen, für welche wir weniger Hypothesen zu Hülfe rufen müssen, als für die herrschende sogenannte dynamische Ansicht, nach welcher im Auge ohne objective Ursache eine Ausstrahlung der Erregung durch helle Eindrücke erfolgt. Gewiss ist, dass die blosse Möglichkeit einer Weiterverbreitung der Erregung über die Gränzen der vom Eindruck direct getroffenen Provinz in einem Sinnesorgan, welches zur getreusten Auffassung räumlicher Verhältnisse bestimmt ist, so unphysiologisch erscheint, dass wir uns sträuben müssen, sie ohne die evidentesten Beweise für ihre Existenz anzunehmen. Solche Beweise fehlen aber gänzlich, und schon die einfache Thatsache, dass die Irradiation verschwindet, wenn das Auge dem irradiirenden Object, oder das irradiirende Object durch Brillen oder feine Oeffnungen dem Auge accommodirt wird, muss jener Ansicht jede Stütze entziehen, und die *conditio sine qua non* des Sehens aufrecht erhalten, dass die Netzhaut unter allen Umständen nur da erregt wird und Gesichtsempfindung vermittelt, wo sie direct vom Licht getroffen wird, dass die bewusste Gesichtsempfindung stets genau dem reellen Netzhautbild entspricht.

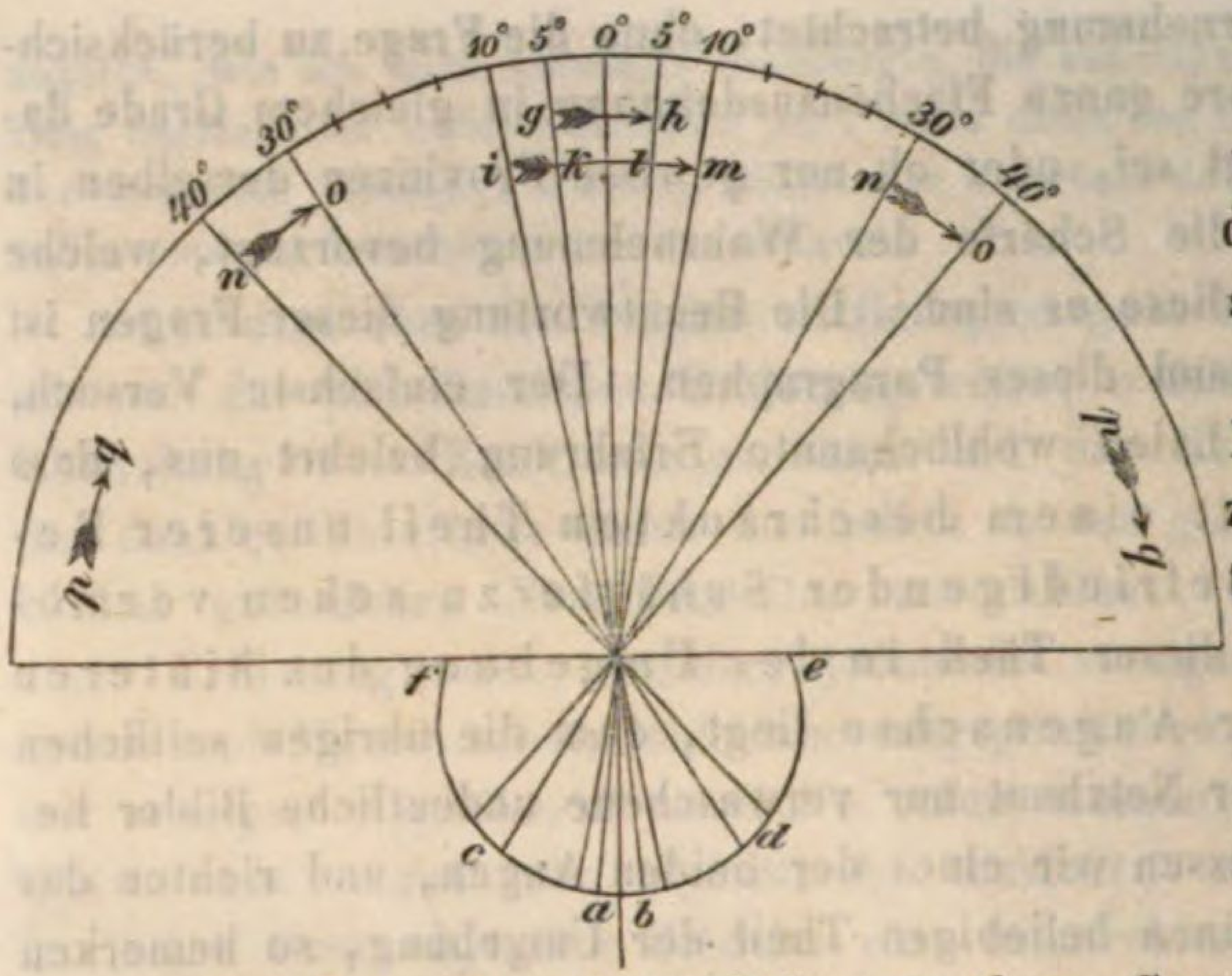
Ein weiteres Eingehen auf die speciellen Erscheinungen und Gesetze der Irradiation, verbietet die Gränze dieses Werkes. Wer sich specieller unterrichten will, den verweisen wir auf die citirten Abhandlungen von Plateau und Welcker.

§. 137.

Wir haben bei unseren bisherigen Erörterungen über das Sehen stets nur die Netzhaut im Allgemeinen als das Organ der

Gesichtswahrnehmung betrachtet, ohne die Frage zu berücksichtigen, ob ihre ganze Flächenausdehnung in gleichem Grade dabei betheiligt sei, oder ob nur gewisse Provinzen derselben in Bezug auf die Schärfe der Wahrnehmung bevorzugt, welche und warum diese es sind. Die Beantwortung dieser Fragen ist der Gegenstand dieses Paragraphen. Der einfachste Versuch, eine jedem Laien wohlbekannte Erfahrung belehrt uns, dass wir nur mit einem beschränkten Theil unserer Retina mit befriedigender Schärfe zu sehen vermögen, dass dieser Theil in der Umgebung des hinteren Endes der Augenachse liegt, dass die übrigen seitlichen Parthieen der Netzhaut nur verwaschene undeutliche Bilder liefern. Schliessen wir eines der beiden Augen, und richten das andere auf einen beliebigen Theil der Umgebung, so bemerken wir leicht, dass wir bei unverrücktem Auge nur einen kleinen Theil des hellen Gesichtskreises scharf sehen, die übrigen dagegen trotz angestrengter Aufmerksamkeit nur undeutlich wie umnebelt sehen, um so undeutlicher, je weiter sie von dem scharfgesehenen Theil abstehen, welcher, wie sich ebenfalls leicht abnehmen lässt, in der Verlängerung der Sehachse liegt. Die relative Grösse des deutlich gesehenen Theils im Verhältniss zum Umfang des ganzen Sehfeldes bleibt sich unter allen Umständen gleich, die absolute Grösse desselben hängt natürlich von der Entfernung ab; fixiren wir ein 12″ vor dem Auge befindliches Buch, so erscheinen nur wenige neben einander befindliche Buchstaben deutlich, während von einer weit entfernten Gegend der Umfang der scharfgesehenen Parthie eine Meile betragen kann. Aus den optischen Erörterungen folgt aber schon, und wird unten noch weiter erörtert werden, dass das Bild der wenigen Buchstaben auf der Netzhaut denselben Raum, wie die Meile Landes in der Entfernung einnehmen, dass beiden derselbe Gesichtswinkel angehören muss. Exacte physiologische Experimente über die Grösse des Gesichtswinkels des deutlichen Sehens und die Grösse und Lage der diesem entsprechenden Netzhautparthie, welche die scharfe Wahrnehmung vermittelt, haben folgende Ergebnisse geliefert.

In horizontaler Richtung beträgt der Winkel, innerhalb



dessen Gegenstände vollkommen deutlich gesehen werden, etwa 10°, d. h. 5° zu jeder Seite der Sehachse; Gegenstände, welche über 5° von der Sehachse abstehen, werden schon undeutlicher gesehen, Gegenstände, die über 30° und 40° abstehen, liefern gar keine unterscheidbaren Bilder mehr. Nach Valentin[1]) werden Gegenstände, welche auf der inneren Seite der Sehachse liegen, also die äusseren Theile der Netzhaut treffen, noch bei einem etwas grösseren Winkel deutlich gesehen, als solche, die auf der äusseren Seite der Sehachse sich befinden.

In verticaler Richtung ist der Winkel des deutlichen Sehens etwa derselbe, wie in horizontaler Richtung, indessen sind Gegenstände, die in einem Winkel von 30° über oder unter der Sehachse liegen, schon weit undeutlicher als solche, die eben so weit in horizontaler Richtung von der Achse abstehen.

Aus diesen durch Erfahrung festgestellten Winkelwerthen des deutlichen Sehens können wir den Umfang der diesem Gesichtswinkel entsprechenden Netzhautparthie berechnen, sobald wir den Abstand des optischen Mittelpunktes des Auges von dem hintern Ende der Sehachse auf der Netzhaut kennen Es ergiebt sich aus dieser Rechnung, dass die Stelle der deutlichen Gesichtsempfindung a b ziemlich genau dem Umfang des gelben Fleckes entspricht, dessen Durchmesser etwas über 1''' beträgt, dass dagegen die Gränze e d,

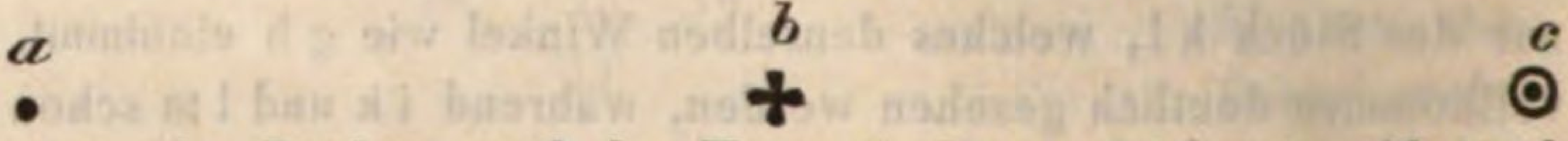
1) Valentin, Lhrb. der Phys. II. p. 162.

an welcher die Bilder gar nicht mehr wahrgenommen werden, etwa 8—10 Millimeter vom inneren Ende der Sehachse entfernt liegt, ein grosser Theil der Netzhaut daher von jener Gränze an bis zur *ora serrata* zum wirklichen Sehen, zur Wahrnehmung von Bildern gar nicht verwendbar ist (d e und c f). Das Bild eines Pfeiles g h also, welcher von der Sehachse halbirt wird, und so gross ist, dass der Gesichtswinkel jeder Hälfte 5° beträgt, wird vollkommen scharf auf einmal gesehen werden, weil sein Netzhautbild a b gerade dem Durchmesser des gelben Fleckes entspricht. Von dem Pfeil i m dagegen, welcher ebenfalls durch die Sehachse halbirt wird, der aber einen Winkel von 10° zu jeder Seite der Achse einnimmt, kann nur das Stück k l, welches denselben Winkel wie g h einnimmt, vollkommen deutlich gesehen werden, während i k und l m schon weniger scharf, verwischter erscheinen, da ihre Bilder jenseits des Umfanges des gelben Fleckes, also nicht in die Stelle des deutlichsten Sehens fallen. Rückt der Pfeil g h nach n o rechts oder links von der Sehachse, so wird er nur äusserst unvollkommen gesehen, weil sein Bild an die Gränze des der Gesichtswahrnehmung überhaupt fähigen Netzhautabschnittes fällt; rückt er nach p q, so wird er gar nicht mehr wahrgenommen.

Fragen wir nach den Ursachen, in welchen diese ausserordentliche Bevorzugung der am hinteren Ende der Sehachse liegenden *macula lutea* vor ihrer Umgebung, und die gänzliche Unbrauchbarkeit eines ganzen Abschnittes der Netzhaut zur Vermittlung von Gesichtswahrnehmung begründet sein mag, so müssen wir eine befriedigende Antwort noch schuldig bleiben. Das Abnehmen der Dicke der Faserschicht in der Netzhaut nach ihrer vorderen Gränze zu, steht wohl damit im Zusammenhange, kann uns aber die Abschwächung der Empfindung in den entsprechenden Parthieen direct nicht erklären, da wir diese Fasern selbst nicht als die Elemente der Gesichtsempfindung, nicht als Aufnahmeorgane der Lichteindrücke anerkannt haben. Wichtiger in dieser Beziehung ist die schon im histologischen Abschnitt hervorgehobene Thatsache, dass die Zapfen der Jacob'schen Haut in der Gegend des gelben Fleckes am dichtesten gedrängt stehen, aber um so weiter aus einander rücken, je weiter die Netzhautprovinz, der sie angehören, vom hinteren Ende der Sehachse absteht (vergl. die Abbildung pag. 485). Vergegenwärtigt man sich alle die Beweisgründe, welche für die Elemente der Jacob'schen Haut als eigentliche Perceptionsorgane sprechen,

so wird man nicht anstehen, die Congruenz der relativen Zapfenmenge mit der Schärfe der Gesichtsempfindung an den einzelnen Stellen der Netzhaut mit der vorliegenden Frage in nächsten Zusammenhang zu setzen.

Eine ganz bestimmte Stelle der Netzhaut giebt es noch, welche, obwohl sie innerhalb des Bezirkes der mässig deutlichen Wahrnehmung, vom gelben Fleck nicht zu entfernt liegt, doch vollkommen blind ist, keine Gesichtsempfindung vermittelt: das ist die Eintrittsstelle des Sehnerven, welche nach innen von dem gelben Fleck liegt. Folgender leicht gelingende Versuch beweist diese zuerst von Mariotte entdeckte Thatsache. Schliesst man das rechte Auge, und hält die beistehende Figur



wenn der Punkt a und das Kreuz b den gezeichneten Abstand von einander haben, etwa 5″ von dem linken Auge entfernt, so wird, sobald man das Kreuz b fixirt, der Punkt a vollkommen unsichtbar, während, wenn man umgedreht den Punkt fixirt, das Kreuz nicht verschwindet. Schliesst man das linke Auge, so verschwindet bei Fixation des Punktes a mit dem rechten Auge das Kreuz b, nicht aber der Punkt a bei Fixation des Kreuzes. Dass das fragliche Bild nicht darum verschwindet, weil es etwa bereits jenseits der Gränze der wahrnehmungsfähigen Retinaprovinz fiele, geht daraus hervor, dass ein von dem fixirten Punkte noch weiter in gleicher Richtung abstehendes Object c, als das verschwindende Kreuz (bei Gebrauch des rechten Auges) nicht verschwindet, sondern, wenn auch undeutlich, noch gesehen wird. Dass es die Eintrittsstelle des *nervus opticus* ist, auf welche unter den angegebenen Verhältnissen das Bild des unsichtbaren Objectes fällt, ist leicht zu berechnen. Nach Valentin's [1]) Beobachtungen verschwindet ein Object dann, wenn es zu dem fixirten, also in der Sehachse befindlichen in einem Winkelabstand von 12—18° nach aussen liegt; sein Bild muss demnach auf den Theil der Netzhaut fallen, welcher etwa 3,05 Millimeter nach innen

1) Valentin, a. a. O. p. 167.

vom hinteren Ende der Sehachse (im gelben Fleck) beginnt, und von da aus etwa eine Breite von 1,34 Millimeter (nach innen) hat. In demselben Abstande vom hinteren Ende der Sehachse liegt nach innen zu die Eintrittsstelle des Sehnerven. Da aber der Durchmesser dieser Eintrittsstelle grösser ist, als der für die blinde Stelle berechnete, so nimmt man an, dass nur die Mitte dieser Eintrittsstelle, und zwar der Durchtrittsort der Centralgefässe der unempfindliche Theil sei. Es dürfte indessen doch der wirklich unempfindliche Theil den Querschnitt dieser Gefässe an Umfang übertreffen, und sich auch noch etwas auf die Parthie erstrecken, wo die eintretenden Sehnervenfasern noch zu Haufen zusammengedrängt liegen, dagegen die übrigen Retinaelemente, insbesondere die Gebilde der Jacob'schen Haut mangeln. Nach der oben erörterten Anschauung über die Bedeutung der letzteren muss sogar die Abwesenheit derselben Unempfindlichkeit zur Folge haben, während es uns nicht mehr Wunder nehmen kann, wenn eine Stelle keine Lichteindrücke aufnimmt, an der die Sehnervenfasern selbst vorzugsweise angehäuft sind.

§. 138.

Eine kurze Berücksichtigung verdienen an dieser Stelle noch die sogenannten endoptischen Gesichtsphänomene, welche man gewöhnlich mit unter dem ziemlich vagen allgemeinen Begriff der subjectiven Gesichtserscheinungen unterbringt. Da indessen die reine Subjectivität der meisten so benannten Erscheinungen mehr als zweifelhaft ist, ebenso wie sich für die meisten sogenannten subjectiven Gehörempfindungen eine objective Ursache nachweisen oder wenigstens vermuthen liess; da der Name subjectiv erwiesener Maassen für eine Menge der fraglichen Phänomene nur insofern passt, als die objective Ursache in dem Subject des Sehenden, d. h. im Auge selbst vorhanden ist, so thut man besser, die Bezeichnung subjectiv ganz fallen zu lassen oder auf die uns hier nicht interessirenden Erscheinungen zu beschränken, bei denen die Abwesenheit jedes objectiven Gesichtseindrucks zur Evidenz klar ist, wie die Traumbilder und andere reine Hallucinationen.

Unter endoptischen Gesichtsphänomenen versteht man eben die, welche durch ein im Auge befindliches Sehobject hervorgerufen werden. Nicht für alle diese Erscheinungen ist die Natur und die Lage des Objectes mit Sicherheit erkannt. Es gehört hierher:

1) Die schon oben beschriebene Aderfigur des Auges. Bewegt man im dunkeln Raume ein Kerzenlicht anhaltend nahe vor dem Auge hin und her, oder betrachtet man durch eine feine Oeffnung anhaltend den Wolkenhimmel, während man die Oeffnung hin- und herbewegt, so erscheint in dem matterleuchteten Sehfeld eine dunkle baumartig verästelte Figur, deren Aeste von einem centralen Punkt ausgehen. Es werden, wie schon erwähnt, die vom Licht getroffenen und erregten Netzhautparthieen empfunden, während die von den Retinagefässen bedeckten nnd daher nicht erregten Parthieen als dunkle, dem Verlauf derselben entsprechende Lücken im Sehfeld wahrgenommen werden.

2) Die sogenannten *mouches volantes*, die sich als Perlschnuren, durchscheinende Ringe, Scheiben, einzelne oder gruppirte helle Punkte u. s. w. darstellen. Sehr leicht tritt diese Erscheinung bei angestrengter Betrachtung einer hellen Fläche ein, und ist namentlich den Mikroskopikern als eine höchst lästige, störende bekannt. Die erscheinenden Figuren folgen meist den Bewegungen des Augapfels. Welche Gebilde dieselben hervorrufen, ist durchaus noch nicht festgestellt; man hat an die Zellen des *liquor Morgagni* gedacht, doch diese haben wir oben als nicht suspendirt, sondern als regelmässige festsitzende Epithelialschicht kennen gelernt, man hat ferner an die Körnerschicht und die Elemente der Jacob'schen Haut in der Retina selbst gedacht, doch ohne die leiseste Berechtigung, man hat an unbekannte organische Formgebilde, die in der Linse oder dem Glaskörper vorhanden sein sollen, gedacht, und diese Ursache müssen wir auch wirklich vermuthen, dürfen sie aber ohne directen mikroskopischen Nachweis nicht als begründet hinstellen.

3) Bei manchen Personen finden sich constante bei jeder aufmerksamen Beobachtung an bestimmten Stellen sich darstellende dunkle Flecken von verschiedener Gestalt und Ausdehnung

im Sehfeld. Diese rühren von kleinen Trübungen und Flecken in den dioptrischen Medien, in Hornhaut oder Krystalllinse her.

Um sich von der Gegenwart solcher Flecken zu überzeugen, verfährt man nach Listing [1]) am besten so: Man bohrt in eine schwarze Platte mit einer feinen Nähnadel eine feine Oeffnung von etwa 0,1 Millimeter und hält diese Platte so nahe vor das Auge, dass nur durch das feine Loch Licht ins Auge fällt, welches die Medien desselben hinreichend erleuchtet, um die darin befindlichen kleinen Verdunklungen sichtbar zu machen, gerade so, wie man viele durchsichtige Objecte unter dem Mikroskop bei Dämpfung des Lichts durch Verschiebung der feinen Oeffnung im Diaphragma am besten erkennt.

§. 139.

Wir haben in den letzten Paragraphen nur von solchen Gesichtsempfindungen, und von solchen das Sehen überhaupt betreffenden Erscheinungen und Gesetzen gehandelt, welche sich auf die Reaction der Netzhaut gegen die Lichteindrücke als ursächliches Moment zurückführen, aus dieser allein erklären liessen. Die Empfindung von Licht und Schatten, einfachen und gemischten Farben, die Nachempfindung, die rein subjectiven Nachbilder, die Irradiationserscheinungen, die endoptischen Gesichtsphänomene, alle fanden wir in einem ihnen entsprechenden, der Art, Intensität, Ausbreitung und Dauer nach verschiedenen Erregungsmodus der Netzhaut begründet. Wir brauchten zu der Erklärung dieser Phänomene kein fremdes Element, keine geistige Operation, ausser derjenigen, welche bei jeder Gesichtsempfindung das Bewusstwerden vermittelt, keine Combination von unmittelbarer Gesichtsempfindung und durch anderweitige Erfahrungen gewonnenen Vorstellungen zu Hülfe zu rufen. Wir wenden uns jetzt zu einer Eigenschaft der Gesichtswahrnehmungen, welche nicht so einfach aus unmittelbarer Auffassung der im Auge durch das Bild hervorgerufenen Netzhautaction zu erklären ist.

Wir haben bei der Lehre von der Dioptrik des Auges unumstössliche Beweise dafür geliefert, dass jedes äussere Object ein verkehrtes Bild auf die Netzhaut wirft, dass also im Netzhautbild oben, was im Object unten, rechts, was im Object

1) Listing, Beitr. zur physiol. Optik, Göttingen 1845. p. 14.

links ist, und umgekehrt. Im Netzhautbild eines Hauses steht daher das Dach nach unten, das Parterre nach oben, der rechte Giebel links, der linke rechts, wie man sich durch die oben pag. 514 genannten Mittel jeden Augenblick überzeugen kann. Nun weiss aber Jeder, dass in der bewussten Gesichtswahrnehmung jedes Object in seiner natürlichen Lage, nicht verkehrt erscheint. Es entsteht daher die schwierig zu lösende Frage, durch welche Mittel wird dieser Widerspruch beseitigt, wodurch wird das reelle verkehrte Bild auf der Netzhaut in der Vorstellung zu einem aufrecht stehenden verwandelt? Es sind die verschiedensten zum Theil sich schroff gegenüberstehenden Hypothesen zur Lösung dieser Frage versucht worden, von denen jedoch die meisten auf falschen Grundlagen, auf irrigen Anschauungen über das Wesen der Gesichtsempfindung, d. h. der unmittelbaren Auffassung der Netzhauterregung fussen, wie Volkmann[1]) in seiner vortrefflichen Abhandlung klar erwiesen hat. Vor Allem sind alle jene Erklärungen zurückzuweisen, welche der Gesichtsempfindung mechanische Gesetze aufdrängen und aus diesen die Umkehrung des Bildes ableiten wollen, so dass die Beurtheilung der Richtung, aus welcher die Lichtstrahlen kommen, ebenso als Resultat unmittelbarer Sinneswahrnehmung erscheint, wie die Beurtheilung der Intensität oder Farbe des Lichtes. Valentin[2]) geht von der Annahme aus, dass die aus irgend einer bestimmten Richtung die Retinatheilchen treffenden Lichtwellen in diesen Theilchen Schwingungen des Nervenäthers erzeugen, deren Richtung der der auftreffenden Wellen entspricht. In der Empfindung soll diese Richtung der Schwingungen wahrgenommen und nach aussen versetzt werden. Da nun jeder leuchtende Punkt einen Kegel von Lichtstrahlen ausschickt, die wieder in einem Netzhautpunkt zusammentreffen, so müsse nach dem Parallelogramm der Kräfte aus den durch sie erzeugten verschieden gerichteten Nervenätherschwingungen eine einzige resultiren, welche der Diagonale aller jener Richtungslinien entspreche; in der Empfindung werde daher der

---

1) Volkmann, a. a. O. p. 340. — 2) Valentin, a. a. O. p. 174.

leuchtende Punkt in der Richtung dieser Diagonale nach aussen versetzt. Die Unhaltbarkeit dieser Hypothese ist leicht zu erweisen; sie hat auch nicht eine einzige erwiesene Prämisse. Wer hat nachgewiesen, dass die Lichtwellen in den Empfindungselementen der Retina wiederum Schwingungen eines fingirten Nervenäthers erzeugen? Was berechtigt uns zu dem Glauben, dass diese Schwingungen verschiedene Richtungen, die durch die Richtung des ankommenden Wellenzuges bestimmt werden, haben? Wir haben bereits wiederholt bei anderen Sinneswahrnehmungen wahrscheinlich zu machen gesucht, dass es geradezu naiv ist, die Nerven als simple Leiter des sie treffenden Eindrucks in grobphysikalischem Sinne zu betrachten, zu glauben, dass die Tastnerven wie ein Stück Holz den Druck, die Hörnerven die Schallwellen fortleiten. Wenn jetzt wohl niemand mehr glaubt, dass die Schallwellen im Innern der Acusticusfasern die Richtung beibehalten, in der sie zufällig durch die äussere Luft ankommen, so kann wohl auch niemand zugeben, dass die Nervenenden des *opticus* in Schwingung gerathen, die ihre Richtung der Richtung des Lichtstrahles accommodiren. Wären die Fasern der Faserschicht der Retina die Empfindungselemente, so müsste ihrer Lage zu den Lichtstrahlen nach ihr Aether regelmässig in transversale Schwingungen gerathen; sind die von Koelliker als Empfindungselemente angesprochenen Gewebstheile der Retina wirklich solche, so müssten sie in der Regel, ihrer radialen Anordnung zufolge, in longitudinale Aetherschwingungen gerathen; wie wäre aber in diesen fadenartigen Fortsätzen, die durch Körner unterbrochen sind, die Entstehung von Wellenzügen in verschiedener Richtung und die Mittheilung derselben in ihrer jedesmaligen Richtung an die leitenden Nervenfasern denkbar? Das Unhaltbarste in oben genannter Hypothese ist aber die Annahme, dass diese Richtung Gegenstand der Empfindung sein soll, dass die Empfindung den Eindruck in dieser Richtung nach aussen versetzen soll. Volkmann hält Valentin mit vollem Rechte entgegen, dass die Resultirende der von einem Lichtkegel erzeugten Nervenätherschwingungen nothwendig nach hinten gerichtet sein, dass der resultirende Wellenzung der letzteren von der vor-

deren Netzhautfläche weg nach hinten zu gehen müsste. Durch welche Mittel wird die Empfindung, um so zu sagen, gelehrt, sich diesen Aetherschwingungen diametral entgegen nach aussen zu setzen, die Richtung der fraglichen Diagonale geradezu umzukehren?

Den schlagendsten Beweis gegen die Valentin'sche Theorie leitet Volkmann aus dem einfachen Scheiner'schen Versuche her. Man vergleiche die obere Figur auf pag. 520. Das Auge ist hier so accommodirt, dass der Punkt f durch die beiden Kartenblattlöcher c d deutlich und einfach in a gesehen wird, wo die beiden durch c und d eingedrungenen Strahlenbüschel in einem Punkt der Netzhaut vereinigt werden; der Punkt wird nach Valentin wirklich in A gesehn, weil die Diagonale der erregten Schwingungen in der Netzhautstelle a die Richtung a A haben muss, also mit der Richtungslinie zusammenfällt. Schliesst man nun das eine Loch d, so bleibt der Gegenstand an derselben Stelle stehen, wir sehen ihn am gleichen Orte wie vorher; nach der Theorie von Valentin müssten wir ihn aber in der Richtung der Diagonale des Strahlenbüschels a c sehen, da dieser allein noch die Netzhaut trifft. Es ist dies der sicherste Beweis, dass die Richtung der Lichtstrahlen durchaus nicht die Richtung der Empfindung bedingt, dass überhaupt die Wahrnehmung der Richtung, in welcher die Lichtstrahlen kommen, nicht ein Act der unmittelbaren Empfindung ist, dass daher auch das Aufrechtsehen der verkehrten Netzhautbilder unmöglich auf eine Empfindung der Richtung, aus welcher die Strahlen ankommen, zurückgeführt werden kann. Wir müssen also nach anderen Mitteln suchen, welche uns die verkehrt abgebildeten Gegenstände aufrecht erscheinen lassen.

J. Müller[1]) nimmt an, dass eine wirkliche Umkehrung der Bilder durchaus nicht nöthig sei, da wir Alles verkehrt, aber die einzelnen Gegenstände in ihrer richtigen relativen Lage zu einander sehen. Wir kommen auf diese Weise gar nicht zum Begriff des Verkehrtsehens, da wir eben nichts gerade sehen, sondern nennen die Gegenstände aufrecht, wie wir sie eben

1) J. Müller, Phys. II. 357.

sehen. Aus demselben Grunde nehmen wir die Bewegung der Erde nicht wahr, weil sich Alles auf derselben mit bewegt, und nur die Beobachtung der Sterne, die Veränderung ihres Standpunktes zu der Erde kann uns lehren, dass sich letztere bewegt, sobald wir durch anderweitige Erfahrungen wissen, dass nicht die Sonne und die Sterne um die Erde sich drehen. Da wir auch unsère tastende Hand verkehrt sehen, meint Müller, könne auch keine Disharmonie zwischen Verkehrtsehen und Geradefühlen eintreten. Volkmann, welcher sich dieser Ansicht früher unbedingt anschloss, nimmt dieselbe neuerdings insofern zurück, als er sie nur für das im Sehen ungeübte Auge gelten lässt, nicht aber für das durch Erfahrung gebildete. Wenn ein Blindgeborner, durch Operation sehend gemacht, die Gegenstände nicht verkehrt sieht, so geschieht dies allerdings aus dem Grunde, den Müller anführt. Das Auge selbst nimmt nur die relative Lage der Objecte zu einander wahr, was aber oben und unten ist, darüber belehrt uns nicht das Sehen unmittelbar. Wir wüssten nichts von oben, unten, rechts und links, wenn unsere sinnliche Wahrnehmung der Aussenwelt auf den Gesichtssinn beschränkt wäre. Wir nennen etwas oben, wenn wir, um dazu zu gelangen, die Hand ebenso bewegen müssen, als wenn wir vom Leib zum Kopf kommen wollen und so umgekehrt; wir wüssten, wenn wir auf das Sehen beschränkt wären, nicht einmal, dass die empfundenen Netzhautbilder Gegenständen angehören, die sich ausserhalb des empfindenden Subjects befinden. Bei solchen aber, welche bereits durch andere Erfahrungen über die wirkliche Lage der Dinge unterrichtet sind, reicht die totale Umkehrung des Sehfeldes nicht aus, die Dinge aufrecht erscheinen zu lassen. Wäre dies der Fall, so müsste uns das verkehrte Bild des Mikroskopes oder des Fernrohres (ohne terestrisches Ocular) ebenfalls aufrecht erscheinen, wir könnten seine Umkehrung nicht wahrnehmen, da eben auch Alles umgekehrt wird. Volkmann nimmt daher mit Recht an, dass doch ein Mittel vorhanden sein muss, welches uns beim Sehen über die Richtung der Sehobjecte ein Urtheil verschafft, dass dieses Mittel aber nicht im Auge selbst liegen kann. Und zwar erlangen wir die Erkenntniss über die

Richtung durch das Bewusstsein der Muskelbewegung, durch welche das Auge auf das zu betrachtende Object eingestellt wird. — Schon die gröberen Bewegungen des ganzen Körpers geben uns einen Begriff von der Richtung, in welcher ein zu betrachtender Gegenstand liegt; wir wissen, dass wir den Kopf oder den ganzen Körper nach irgend einer Seite oder nach oben und unten wenden müssen, um Gegenstände, die ausserhalb der Sehachse liegen, zu sehen, und versetzen daher im Geiste den Gegenstand nach derselben Seite, nach welcher wir die bewusste Bewegung ausführen, um ihn zur deutlichen Wahrnehmung zu bringen. Noch viel feinere genauere Aufschlüsse geben uns aber die subtilen Bewegungen des Auges selbst mit Hülfe der dasselbe umgebenden Muskeln, indem wir uns auch der kleinsten Drehung der Augenachsen bewusst werden, diese Drehung aber jedesmal ausführen müssen, wenn wir ein Object, das nicht in der Verlängerung der Sehachse liegt, deutlich erblicken wollen. Haben wir also ein Haus vor uns, so wissen wir, dass wir das Auge nach der Richtung, die wir oben nennen, drehen, wenn wir das Dach betrachten, nach unten, wenn wir das Parterre betrachten, und versetzen daher, ohne uns der verkehrten Lage des Netzhautbildes bewusst zu werden, das Dach nach oben, das Parterre nach unten. Sehen wir dagegen durch ein Mikroskop oder ein astronomisches Fernrohr, so bemerken wir, dass wir, ohne dass unser Auge umgedreht ist, dasselbe nach oben drehen müssen, um einen Theil, den wir sonst bei der Drehung nach unten deutlich sehen, zu fixiren und umgekehrt, und werden uns dadurch der Umkehrung der Bilder durch das Glas bewusst.

Einen interessanten Beweis für diese Erklärung leitet Volkmann aus dem bekannten Fall des von Franz operirten Blindgeborenen ab. Derselbe schielte, als er mit dem linken Auge sehen lernte; seine Augenachse war daher in der Ruhe nach rechts gerichtet, demnach bildete sich bei ihm die Vorstellung aus, dass die Gegenstände des deutlichsten Sehens nach der rechten Körperhälfte zu liegen; als nun nach Durchschneidung des inneren Augenmuskels das Auge sich unbewusst geradeaus stellte, sah er alle Gegenstände zu weit nach rechts, weil das Bewusstsein der Muskelbewegung noch dasselbe war, wie

vor der Operation; die Vorstellung, dass bei ruhendem Auge die deutlich erblickten Objecte nach rechts lägen, war geblieben.

Das Muskelgefühl, d. h. das Bewusstwerden der Art und Grösse der durch Muskeln ausgeführten willkührlichen Bewegungen, leistet demnach der sinnlichen Wahrnehmung des Auges ganz analoge Dienste, wie wir sie bereits früher für andere Sinne kennen gelernt haben. Wir sahen oben pag. 432 u. 451 beim Gehörsinn, dass die Richtung, aus welcher der Schall von aussen zu den Ohren kommt, niemals Gegenstand unmittelbarer Empfindung sein kann, dass es im Gehörorgan keinen Apparat giebt, welcher die Richtung des Schalles angiebt, dass alle Hypothesen irrig sind, welche bestimmten Theilen des Hörapparates (den halbzirkelförmigen Kanälen, oder gar den Enden des Acusticus selbst) diese Function haben aufbürden wollen. Wir überzeugten uns, dass wir ein Urtheil über die Schallrichtung auf demselben Wege, wie über die Richtung des Lichtes erhalten, mit Hülfe bewusster Muskelbewegungen, indem wir den Kopf in diejenige Richtung zu der Schallquelle drehen, bei welcher wir den Ton am deutlichsten hören, und dann im Geiste die Schallquelle in die Verlängerung der Achse des äusseren Gehörganges versetzen. Noch ausgebreitetere wichtigere Hülfsverrichtungen mussten wir den Bewegungsorganen bei den Tastoperationen zuschreiben. Ohne Beweglichkeit, ohne dass jede, auch die kleinste Bewegung, die wir mit den Tastorganen vornehmen, auf das Getreuste ihrer Richtung, Intensität und Grösse nach in der Vorstellung sich abspiegelt, könnte erstens von einem activen Tasten überhaupt nicht die Rede sein, sondern nur von einem passiven, wenn die Tastobjecte an unsere Tastflächen heranbewegt würden; zweitens könnten wir dann wohl Aufschlüsse über die Temperatur des Objects, aber nur sehr unvollkommen über sein Gewicht, und fast gar keine über seine räumlichen Verhältnisse erhalten, wie oben pag. 325 und 333 ausführlich gezeigt worden ist.

§. 140.

An die im vorigen Paragraphen erörterte Frage über die Beurtheilung der Richtung beim Sehen schliessen sich einige

nahe verwandte Fragen an, nämlich nach der Art und Weise, auf welche wir beim Sehen zur Erkenntniss der Grösse, Entfernung und Bewegung der Gesichtsobjecte kommen.

Die Wahrnehmung der Grösse der Gegenstände ist ebenso wenig als die der Richtung das Resultat unmittelbarer Empfindung; ohne Zuthun anderweitiger Hülfsmittel, die wir sogleich kennen lernen werden, können wir unmittelbar aus den Gesichtsempfindungen nur die relative Grösse zweier gleichzeitig im Sehfeld befindlicher Objecte erkennen, und diese Erkenntniss wird nur dann dem wirklichen relativen Grössenverhältniss der Objecte entsprechen, wenn dieselben in einer Ebene in gleicher Entfernung vom Auge liegen. Betrachten wir ein Haus, so afficirt ein Fenster eine kleinere Parthie von empfindenden Netzhautpunkten, nimmt einen kleineren Raum im Sehfeld ein als z. B. das Dach; wir schliessen daraus mit Recht, dass das Fenster kleiner sei als das Dach; wollten wir aber daraus, dass ein naher Finger einen grösseren Raum im Sehfelde einnimmt, als das ganze Haus, schliessen, dass der Finger grösser sei, so würde dieser Schluss aus der unmittelbaren Empfindung falsch sein. Es gehört demnach schon zur Beurtheilung der relativen Grösse zweier Objecte ausser der gleichzeitigen Darstellung im Sehfelde, die Kenntniss eines anderen Momentes, der Differenz ihrer Entfernung vom Auge. Diese Kenntniss gewinnen wir aber nie aus der einfachen Empfindung; im Sehfeld giebt es keine Tiefe, weil dasselbe nur eine räumliche Dimension, die Ausdehnung in der Fläche hat. Das Bild des nahen Fingers fällt in dieselbe Ebene als das des fernen Hauses. Beide nehmen in derselben einen gleich grossen Raum ein, wenn beide einen gleich grossen Sehwinkel besitzen, wie sich aus der Dioptrik des Auges ergiebt; beide werden daher in diesem Falle gleich gross empfunden. Es fragt sich aber, wie gross empfinden wir die Bilder überhaupt? Wir haben oben nachgewiesen, dass das Netzhautbild stets kleiner als das Object ist, dass diese Differenz nothwendig um so beträchtlicher ausfallen muss, je grösser die Entfernung des Objectes. Empfinden wir nun das Netzhautbild in seiner reellen Grösse, den Gegenstand also, dem es entspricht, viel kleiner als er ist? Joh. Müller bejaht

diese Frage, und glaubt, dass die Netzhaut sich beim Empfinden in ihrer reellen Grösse erkenne, daher auch die von einem Bild afficirten Netzhautparthieen in ihrer wahren Grösse erkannt werden, ebenso wie die tastende Hand ihre mit den Tastobjecten in Berührung gebrachten Parthieen in ihrer wahren Grösse empfinde. Volkmann [1]) giebt dies ebenso wenig für den Gesichtssinn, als für den Tastsinn zu; er beruft sich auf das von E. H. Weber zur Messung der Feinheit des Tastsinnes angegebene Experiment, (siehe oben pag. 322), aus welchem hervorgeht, dass eine gleiche Grösse, ein bestimmter Abstand zweier Zirkelspitzen an verschiedenen Hautstellen sehr verschieden gross wahrgenommen wird. Ein auf der Haut vom Vorderarm nach der Fingerspitze bei gleichbleibender Oeffnung fortbewegter Zirkel scheint immer weiter sich zu öffnen, ein von den Lippen nach dem Ohr zu bewegter sich zu schliessen; an der Ohrgegend selbst rufen die beiden Zirkelspitzen, wenn sie $\frac{3}{4}''$ von einander entfernt, aufgesetzt werden, nur einen einfachen punktförmigen Eindruck hervor, an der Rückenhaut ist ein Abstand der Spitzen von 24—30''' erforderlich, damit sie zwei gesonderte Eindrücke erzeugen. Jede Hautparthie empfindet daher eine bestimmte Grösse verschieden, die Haut des Rückens schätzt einen Abstand der Spitzen von 30''' nicht grösser, als die Fingerspitze einen Abstand von 1'''. Der Rückenhaut macht eine kleine Münze einen punktförmigen Eindruck, während der tastende Finger bereits eine ansehnliche Fläche an ihr wahrnimmt. Je feiner der Tastsinn einer Hautparthie, d. h. je mehr der gesonderten Auffassung fähige empfindende Punkte auf einem bestimmten Raum in ihr vorhanden sind, desto grösser schätzt sie die Grösse eines bestimmten Objectes, weil sie die Grösse der einem einzelnen empfindenden Punkt zugehörigen Tastprovinz als Maasseinheit nimmt. Dasselbe Gesetz trägt Volkmann auch auf den Gesichtssinn über, und lässt auch die empfindende Netzhaut bei ihren Grösseschätzungen das Individuum ihrer empfindenden Elemente, also einen einzelnen empfindenden Punkt als Maasseinheit zu Grunde legen. Bei der ausserordentlichen Klein-

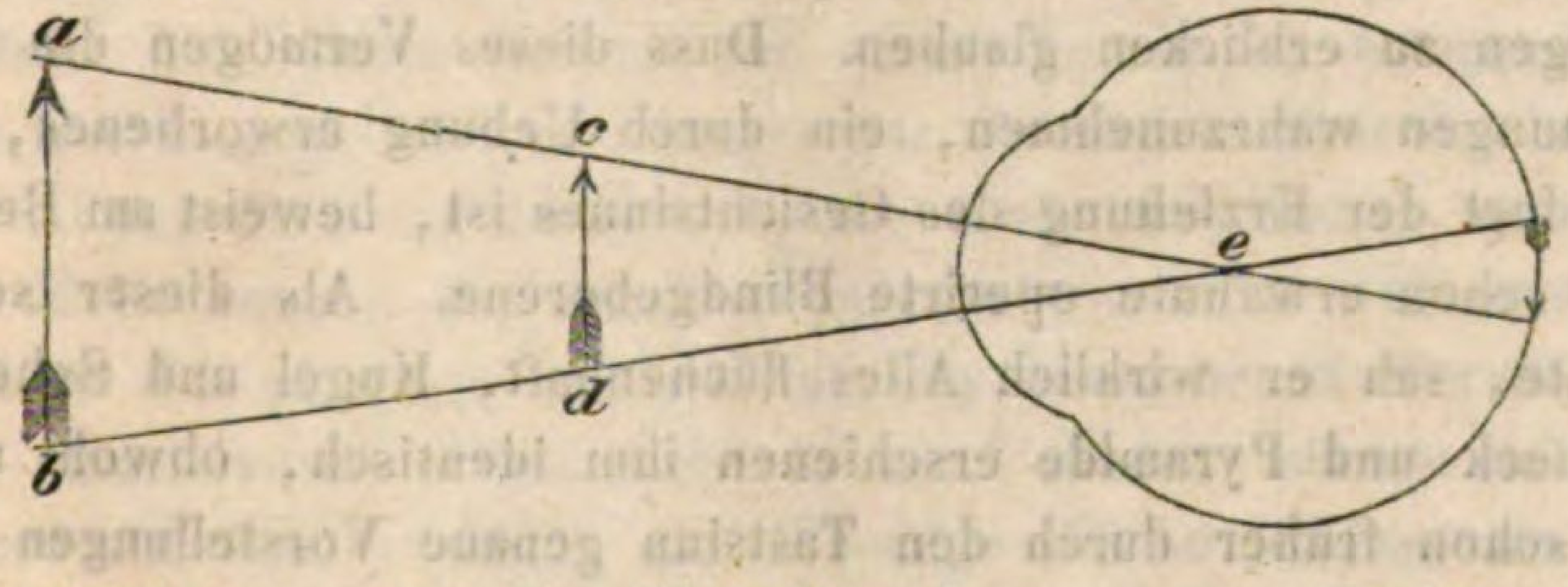
1) Volkmann, a. a. O. p. 336.

heit dieser Punkte in der Netzhaut, welche gegen die der Tastorgane verschwindend klein sind, müssen daher die Bilder der Objecte, obwohl sie beträchtlich verkleinert sind, eine beträchtliche Anzahl solcher Punkte einnehmen, eine weit grössere, als ein Object von der Grösse des Netzhautbildes auf der Haut einnehmen würde; es lässt sich demnach nicht sagen, dass das Auge die Objecte kleiner sehe, als die Hand sie fühle. Halten wir eine Münze nahe vor das Auge, so nimmt ihr Bild auf der Netzhaut gewiss mehr der Maasseinheiten ein, als das Object selbst in Berührung mit dem Finger; entfernen wir sie aber vom Auge, so wird sehr bald eine Gränze kommen, wo ihr Bild weniger Punkte im Auge, als sie selbst auf der Hand einnimmt. Im ersten Falle müsste daher die Münze vom Auge, im zweiten von der Hand grösser geschätzt werden. Wenn uns aber auch im ersten Falle Auge und Hand scheinbar gleiche Grössenanschauungen liefern, so liegt dies daran, dass wir beim Schätzen der Grössen mit dem Auge gar nicht im Stande sind, uns auf die einfache Gesichtsempfindung zu beschränken, sondern unbewusst die durch den Tastsinn gewonnene Vorstellung von der Grösse des Objectes supponiren. Erblicken wir einen Gegenstand, über dessen Grösse wir noch gar keine Kenntniss haben, während zugleich neben ihm sich kein anderes Object von bekannter Grösse zum Vergleiche findet, so sind wir auch nicht im Stande, anzugeben, wie gross er uns erscheint. Lässt man mehrere Personen Blutkörperchen durch ein Mikroskop betrachten, und jede angeben, wie gross sie ihr erscheinen, so wird jedes Urtheil abweichend ausfallen, die eine wird sie mit Linsen, die andere mit Stecknadelköpfen vergleichen.

Wie wir sahen, dass durch die bewusste Muskelaction eine Vorstellung von der Richtung der Sehobjecte erlangt wird, so dient uns dasselbe Mittel auch, um uns eine Vorstellung von der Grösse der Objecte zu verschaffen. Wollen wir die Grössen zweier Objecte vergleichen, so vergleichen wir im Geiste die beiden Grössen der Augendrehungen, die bei jedem Object erforderlich waren, um es von einem bis zum anderen Ende deutlich zu sehen. Wird dem Auge eine lange Linie zur Messung vorgeführt, so stellt es erst den einen Endpunkt in die

Verlängerung der Sehachse, und bewegt sich dann so, dass successiv alle einzelnen Punkte der Linie in die Sehachse kommen, bis es zum anderen Endpunkt gelangt ist; die Grösse dieser Bewegung empfinden wir direct und nehmen sie als Maass für die Grösse des Objectes. Zur sichereren Einprägung dieser Grössenempfindung wiederholen wir, wenn wir genau messen wollen, die Augenbewegungen, lassen die Sehachse wiederholt von einem Ende des Objectes zum anderen hin und her passiren. Wenden wir dann diese Messungsmethode auf eine zweite Linie an, so vergleichen wir die empfundene neue Bewegungsgrösse mit der in der Erinnerung festgehaltenen früheren, und schätzen nach der Differenz der beiden Empfindungen die Grössendifferenz der Objecte.

Indem das Auge eine solche Messbewegung ausführt, beschreibt die Sehachse, wie sich aus dem Beispiel ergiebt, den Gesichtswinkel, unter dem das Object erscheint; die empfundene Grösse entspricht daher der Grösse des Gesichtswinkels. Daraus geht wiederum hervor, dass alle Objecte, welche unter gleichen Gesichtswinkeln liegen, gleich gross geschätzt werden müssen. Der Pfeil a b erscheint daher, obwohl er in Wirk-



lichkeit weit grösser ist, als c d, ebenso gross wie letzterer, weil das Auge dieselbe Bewegung ausführen muss, um die Achse von a nach b zu führen, als wie bei der Drehung von c nach d, d. h. weil die Achse in beiden Fällen den Winkel a e b, d. i. den Gesichtswinkel beschreibt. Empfinden können wir daher nicht, dass a b grösser ist als c d; gelangen wir aber gleichzeitig auf anderen Wegen zu der Erkenntniss, dass a b ferner vom Auge liegt als c d; so gelangen wir durch eine geistige Operation zu der Vorstellung, dass a b grösser ist,

als c d, trotz dem, dass die unmittelbare Empfindung sie als gleich gross erscheinen lässt.

Wie gelangen wir aber zu der Wahrnehmung der Entfernungen der Sehobjecte? Dass auch die Entfernung nicht Gegenstand unvermittelter Gesichtsempfindung sein kann, geht schon aus den bisherigen Erörterungen hervor. Im Sehfeld giebt es keine Tiefe, ferne und nahe Gegenstände liegen für die Empfindung in einer Ebene, in der Ebene der Netzhaut. Wir können nur die räumlichen Verhältnisse der afficirten Netzhauttheilchen empfinden, da diese nun immer eine Fläche bilden, so muss auch alles Sehen an und für sich ein flächenhaftes sein. Dennoch sehen wir nie, ohne unwillkührlich und unbewusst die Gesichtsobjecte in der Vorstellung ihrer verschiedenen Entfernung nach zu ordnen, ohne in dem ideellen Sehfeld alle Dimensionen des Raumes wahrzunehmen. Und zwar geht diese psychische Transformation der unmittelbaren flächenhaften Empfindung so unvermeidlich vor sich, dass wir gar nicht mehr im Stande sind, die einfache Empfindung von diesen Zuthaten der Vorstellung zu isoliren, uns der flächenhaften Empfindung bewusst zu werden, dass wir sogar in dem wirklich flächenhaften Gemälde einer Gegend unwillkührlich die Gegenstände in ihren reellen Entfernungen zu erblicken glauben. Dass dieses Vermögen die Entfernungen wahrzunehmen, ein durch Uebung erworbenes, ein Product der Erziehung des Gesichtsinnes ist, beweist am Besten der schon erwähnte operirte Blindgeborene. Als dieser sehen lernte, sah er wirklich Alles flächenhaft, Kugel und Scheibe, Dreieck und Pyramide erschienen ihm identisch, obwohl auch er schon früher durch den Tastsinn genaue Vorstellungen von den räumlichen Dimensionen der Objecte sich erworben hatte. Er musste erst lernen, die einfachen Gesichtsempfindungen mit den auf anderen Wegen gewonnenen Erfahrungen zu combiniren.

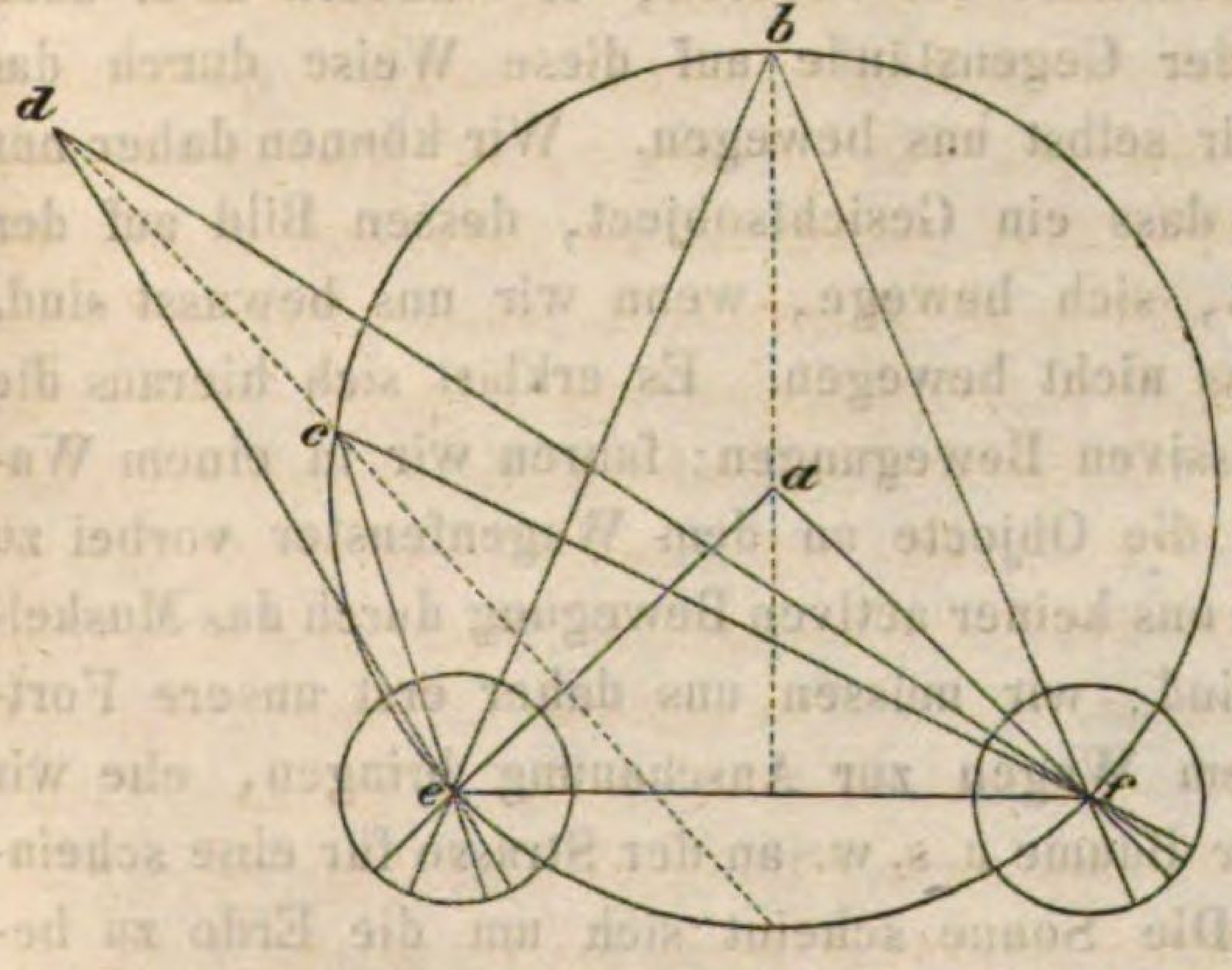
Die erste Kenntniss, die wir erlangen müssen, ist die, dass es überhaupt einen Raum ausser uns giebt, dass die Gesichtsobjecte in diesem Raum ausserhalb des empfindenden Ichs sich befinden. Diese Kenntniss erlangen wir nur durch Hülfe bewusster Bewegungen, und dadurch ist der erste Schritt der

Erziehung des Gesichtssinnes gethan, wir lernen unsere Empfindungen nach aussen setzen, den Erregungszustand der Netzhaut auf Dinge in dem ausser uns befindlichen Raume beziehen. Ebenso gelangen wir durch Hülfe bewusster Bewegungen zu der Vorstellung von der Tiefe dieses Raumes von den Entfernungen. Wir lernen die Grösse der Bewegungen kennen, welche erforderlich sind, um von einem Object in diesem Raume zu einem zweiten zu gelangen. Dabei kommen wir zugleich zu der Erkenntniss, dass ein und dasselbe Object um so kleiner durch das Gesicht empfunden wird, je grössere Bewegungen erforderlich sind, um uns zu ihm zu bringen. Wir vergleichen die empfundene Grösse eines Baumes, der vor uns steht, mit der eines zweiten, zu dem wir nur durch eine willkührliche Bewegung von gewisser Grösse gelangen, und lernen so, mit jeder gegebenen Grösse der Gesichtsempfindung eines Objects eine Vorstellung von seiner Lage im Raume, von seiner Entfernung verbinden. Wir halten daher jeden Gegenstand für fern, der uns kleiner erscheint, als wir ihn in unmittelbarer Nähe zu sehen gewohnt sind. Sehen wir eine lange gerade Allee hinab, so empfinden wir, dass jeder folgende Baum immer kleiner als der vorhergehende erscheint, in der Vorstellung verknüpft sich unbewusst jede dieser Grössen mit einem Begriff der entsprechenden Entfernung, und so erlangen wir ein Urtheil über die Länge der Allee, über die Entfernung der hintersten Bäume von uns. Die Entfernungen der Gestirne können wir nicht wahrnehmen, weil es uns an einer durch Erfahrung gewonnenen Vorstellung von ihrer Grösse in der Nähe fehlt. Befinden wir uns auf dem Meere und sehen auf die gleichförmige Fläche hinaus, so verlässt uns ebenfalls alle Wahrnehmung der Entfernung, es fehlt uns an Gesichtsobjecten, deren Grösse in der Nähe uns bekannt ist; taucht ein Schiff am Horizonte auf, so erlangen wir ein Maass, weil wir seine Grösse in unmittelbarer Nähe kennen und aus der Kleinheit desselben auf seine Entfernung schliessen. Schon auf einem bewegten Meere sind wir besser im Stande, die Entfernungen zu schätzen, weil uns hier die Wellen einen Anhaltepunkt in der bezeichneten Weise bieten. Auf ganz analogen Wegen lernen wir aus der einfachen Gesichtsempfindung

die Gestalt der Objecte wahrnehmen. Wir erwähnen nur ein Beispiel: wie lernen wir Kugel und Scheibe unterscheiden? Die kugelförmige Gestalt ist ein durch den Tastsinn, d. h. durch die Tastbewegungen erworbener Begriff; wir überzeugen uns, dass rundcontourirte Körper, welche beim Betasten kugelförmig erscheinen, auf eine gewisse Weise schattirt sind. Sehen wir daher einen runden Körper so schattirt, so schliessen wir, dass die dem Auge zugewendete Fläche eine kugelförmige sei; bewegen wir uns um den Körper herum, und sehen ihn von allen Seiten rund und entsprechende Schatten an ihm, so schliessen wir, dass er eine vollkommene Kugel sei. Am Vollmond fehlen uns diese Merkmale zur Auffassung der Kugelgestalt, er erscheint uns daher als Scheibe, es kommt die einfache flächenhafte Empfindung unverändert zum Bewusstsein.

Noch müssen wir eines Hülfsmittels gedenken, welches höchst wahrscheinlich bei jedem Sehacte mit zur Wahrnehmung der Entfernung beiträgt, wenn auch seine Wichtigkeit in dieser Beziehung von einigen Physiologen überschätzt wird. Wir werden im nächsten Paragraphen erörtern, dass wir beim Sehen mit beiden Augen die Achsen derselben jedesmal so richten, dass sie sich in dem fixirten Punkte kreuzen; begreiflicherweise muss daher die Convergenz der Achsen um so beträchtlicher, der von ihnen gebildete Winkel um so grösser sein, je näher das Object dem Auge liegt. Dass wir für die Bewegungen der Augenmuskeln, welche natürlich diese Stellungsveränderungen der Augenachsen zu besorgen haben, ein ausserordentlich feines Gefühl haben, dass das sogenannte Muskelgefühl uns jede, auch sehr kleine solcher Bewegungen ihre Richtung und Grösse nach zum Bewusstsein bringt, haben wir bereits oben erörtert, wo wir von der Erkenntniss der Richtung der Gesichtsobjecte durch dasselbe Mittel handelten. Lernen wir nun durch Erfahrung kennen, dass eine gewisse Anstrengung (die wir ebenfalls nicht *a priori*, sondern erst empirisch als gewissen Augenmuskeln zugehörig erkennen) mit der Fixirung naher Objecte und umgekehrt eine geringere mit der ferner Objecte verbunden ist, dass, um den Blick von einem nahen auf ein fernes Object zu wenden, eine antagonistische Muskelanstrengung als beim

umgekehrten Wege erforderlich ist, so bilden wir begreiflicherweise dieses Muskelgefühl zu einem Taxator der Entfernungen heran. Ein Beweis, dass es wirklich als solcher eine Rolle spielt, liegt in der bekannten Erfahrung, dass wir mit zwei Augen Entfernungen weit sicherer, als mit einem Auge zu schätzen im Stande sind. Indessen hat doch die Genauigkeit der fraglichen Schätzungen aus dem Muskelgefühl gewisse Gränzen, seine Anwendbarkeit gewisse Beschränkungen. Wir können erstens nur Objecte, welche in gleicher Richtung zum Auge auf einer geraden Linie hinter einander liegen, in Bezug auf ihre Entfernungen unter einander vergleichen, nicht z. B. ein gerade vor uns mit einem nach links oder rechts gelegenen Object, wie sich aus folgender Figur (J. Müller) ergiebt. Wir können



daher a mit b sicher durch das Muskelgefühl vergleichen, da die Betrachtung von a eine grössere Convergenz der Augenachsen erfordert, als b, nicht aber b und c; c wird nämlich nach dem Muskelgefühl allein, ebenso weit entfernt erscheinen als b, weil in beiden Fällen der Convergenzwinkel der Augenachsen derselbe ist (e b f = e c f), und doch ist c viel näher als b, wir werden aber c mit d wieder sehr wohl vergleichen können. Zweitens ist zu bedenken, dass bei sehr grossen Entfernungen vom Auge die Veränderungen des Convergenzwinkels so ausserordentlich unbedeutend werden, dass die ihnen zu Grunde liegenden Muskelbewegungen wohl schwerlich mit Sicherheit aufgefasst werden. Wenden wir den Blick von einem 10 Fuss vor uns stehenden Baum zu einem 10 Fuss hinter dem ersten gelegenen, so wechselt der Convergenzwinkel um eine beträchtliche Grösse, wollen wir aber einen eine Meile

weit entfernten mit einem 10 Fuss hinter demselben befindlichen Baum vergleichen, so erfolgt eine so geringe Veränderung der Augenstellung, dass wir sie schwerlich so bestimmt auffassen, um daraus die relative Entfernung der beiden Objecte oder überhaupt nur ihr Hintereinanderliegen zu erkennen.

Ob uns auch die Accommodationsanstrengungen der Augen so deutlich zum Bewusstsein kommen, dass wir aus der Art und dem Grade derselben ein Urtheil über die Entfernungen der Objecte erlangen können, ist schwer zu entscheiden.

Es bleibt uns noch übrig, zu erörtern, auf welche Weise wir zur Erkenntniss der Bewegung der Gesichtsobjecte kommen. Auch hierzu reicht die einfache Empfindung nicht aus. Wir empfinden direct die Bewegung des Netzhautbildchens von einer Stelle des Sehfeldes zur anderen, es wandern aber auch die Bilder ruhender Gegenstände auf diese Weise durch das Sehfeld, wenn wir selbst uns bewegen. Wir können daher nur dann schliessen, dass ein Gesichtsobject, dessen Bild auf der Netzhaut wandert, sich bewege, wenn wir uns bewusst sind, dass wir selbst uns nicht bewegen. Es erklärt sich hieraus die Täuschung bei passiven Bewegungen; fahren wir in einem Wagen, so scheinen die Objecte an dem Wagenfenster vorbei zu wandern, weil wir uns keiner activen Bewegung durch das Muskelgefühl bewusst sind; wir müssen uns daher erst unsere Fortbewegung mit dem Wagen zur Anschauung bringen, ehe wir die Bewegung der Bäume u. s. w. an der Strasse für eine scheinbare erkennen. Die Sonne scheint sich um die Erde zu bewegen, weil wir unsere Bewegung mit der Erde gegen die ruhende Sonne nicht wahrnehmen. Wir gelangen ferner zur Erkenntniss der Bewegung eines Objectes, wenn wir die Augen mittelst der Muskeln bewegen müssen, um dasselbe an einer nnd derselben Stelle der Netzhaut, in der Augenachse zu erhalten, während wir auf die Ruhe des Objectes schliessen, wenn bei bewegten Augen auch das Object in entsprechender Weise auf der Netzhaut wandert. Je schneller bei ruhendem Auge das Bild durch das Sehfeld wandert, oder je schneller wir die Augen bewegen müssen, um das Bild auf derselben Stelle des Sehfeldes zu erhalten, für desto grösser erkennen wir die Geschwindigkeit der

Objectbewegung. Sinkt diese Geschwindigkeit unter einen gewissen Grad herab, so können wir die Bewegung nicht mehr direct wahrnehmen; wir sehen auf diese Weise nicht die (scheinbare) Bewegung der Sonne, nicht die Bewegung eines Taschenuhrzeigers, sondern schliessen nur auf dieselbe aus dem Vergleich der Stellung des fraglichen Objects zu anderen zu verschiedenen Zeiten. Befindet sich in unmittelbarer Nähe des bewegten Objects ein ruhendes, an dem ersteres vorbeiwandert, so nehmen wir dessen Bewegung noch bei etwas geringerer Geschwindigkeit wahr, als wenn uns ein solcher Anhaltspunkt fehlt. —

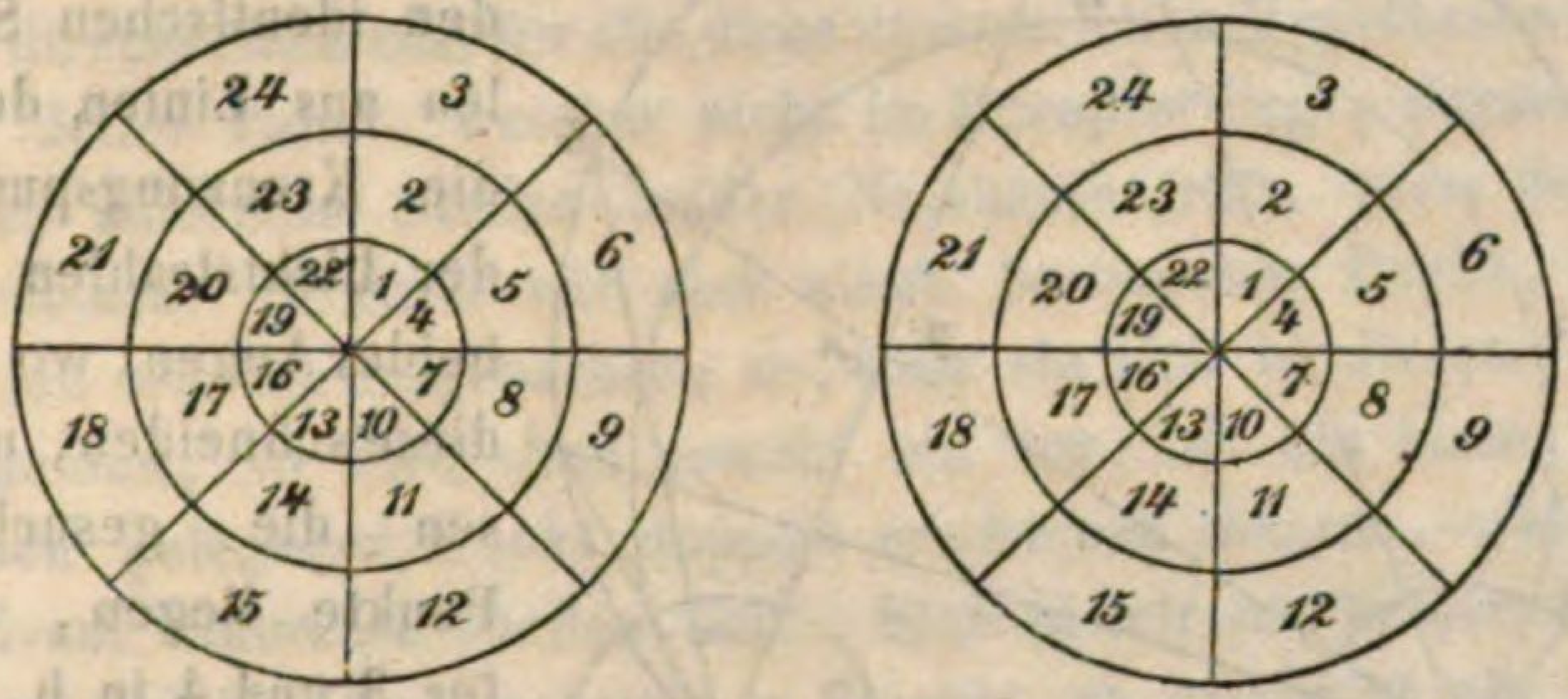
§. 141.

Vom gleichzeitigen Sehen mit zwei Augen.

Wir haben nun die Physik und Physiologie des Auges im Allgemeinen beendet, haben gelehrt, auf welche Weise, durch welche Mittel, nach welchen Gesetzen die Lichtstrahlen ins Auge gelangen und auf der Netzhaut zu Bildern der uns umgebenden Dinge geordnet werden, in welcher Weise die Netzhaut durch diese Bilder erregt wird, wie diese Erregung die einfachen Gesichtsempfindungen vermittelt, wie sich endlich diese unmittelbaren Empfindungen mit anderen Empfindungen und Erfahrungen in den Vorstellungen combiniren, und dadurch zur Erkenntniss der Richtung, Grösse, Entfernung und Bewegung der Gesichtsobjecte führen. Es bedarf keiner Erläuterung, dass die beiden Augen, mit denen wir begabt sind im vollkommen normalen Zustand vollkommen gleiches Sehvermögen besitzen, dass in beiden dieselben Bilder entstehen, und auf gleiche Weise empfunden werden können. Es ist ebenso klar, dass bei gleichzeitiger Anwendung beider Augen nothwendig in jedem ein Bild der Aussenwelt entstehen und zur Empfindung gebracht werden muss. Wie kommt es nun, dass wir beim gewöhnlichen Sehen mit zwei Augen doch die Gegenstände nur einfach wahrnehmen, dass die Gesichtsfelder beider Augen zu einem einzigen verschmelzen? Es ist ferner jedem Laien bekannt, dass das Einfachsehen mit zwei Augen nur ein bedingtes ist, dass wir unter gewissen willkührlich herbeizuführenden Bedingungen wirklich die Gegen-

stände doppelt erblicken. Wir müssen daher fragen: unter welchen Bedingungen sehen wir mit zwei Augen einfach, unter welchen doppelt? Wir sehen einen Gegenstand einfach, wenn sein Bild auf identische Stellen beider Netzhäute fällt, doppelt, wenn es auf differente Stellen fällt, d. h. mit anderen Worten, jedem empfindenden Punkte der einen Netzhaut entspricht ein ganz bestimmter der anderen Netzhaut, mit welchem er gleichzeitig erregt sich doch nur zu einer einfachen Empfindung vereinigt; jeder andere Punkt der zweiten Netzhaut ist zu ihm different, erzeugt bei gleichzeitiger Erregung mit ihm eine doppelte Empfindung. Welche Stellen beider Netzhäute sind identisch? J. Müller hat gezeigt, wie man diese Frage jeden Augenblick durch ein einfaches Experiment entscheiden kann. Drückt man das geschlossene Auge im Dunkeln an irgend einer Stelle, so entsteht die Empfindung eines feurigen Kreises; drückt man gleichzeitig beide Augen, so entsteht die Empfindung eines einfachen feurigen Kreises, wenn man identische Stellen beider Augen gedrückt hat, ein doppelter, wenn man differente gedrückt hat. So entsteht ein doppelter, wenn man den oberen Theil des einen und den unteren des anderen Auges oder die beiden äusseren Theile beider Augen zugleich drückt, ein einfacher dagegen, wenn man beide obere, oder beide untere, oder den inneren Theil des einen und den äusseren des anderen Bulbus zugleich drückt. Daraus ergiebt sich, dass das Obere des einen Auges mit dem Oberen des anderen, ferner das Untere des einen mit dem Unteren des anderen, das Aeussere des einen mit dem Inneren des anderen identisch ist. Denkt man sich die Enden beider optischen Achsen als Pole und die Retina um diese Pole in Längen- und Breitengrade getheilt, so lässt sich der Satz so aussprechen, dass identische Stellen beider Netzhäute solche sind, die unter gleichen Längen- und Breitengraden liegen. Die folgenden Figuren mögen dies erläutern. Man denke sich beide Netzhäute scheibenförmig, und durch concentrische Kreise und Radien in gleichviel und gleichgrosse Felderchen abgetheilt, so sind die Felder, welche auf einander fallen würden, wenn man die eine Netzhaut über die andere hinwegschöbe, so dass sich beide vollkommen deckten, identisch. Es sind

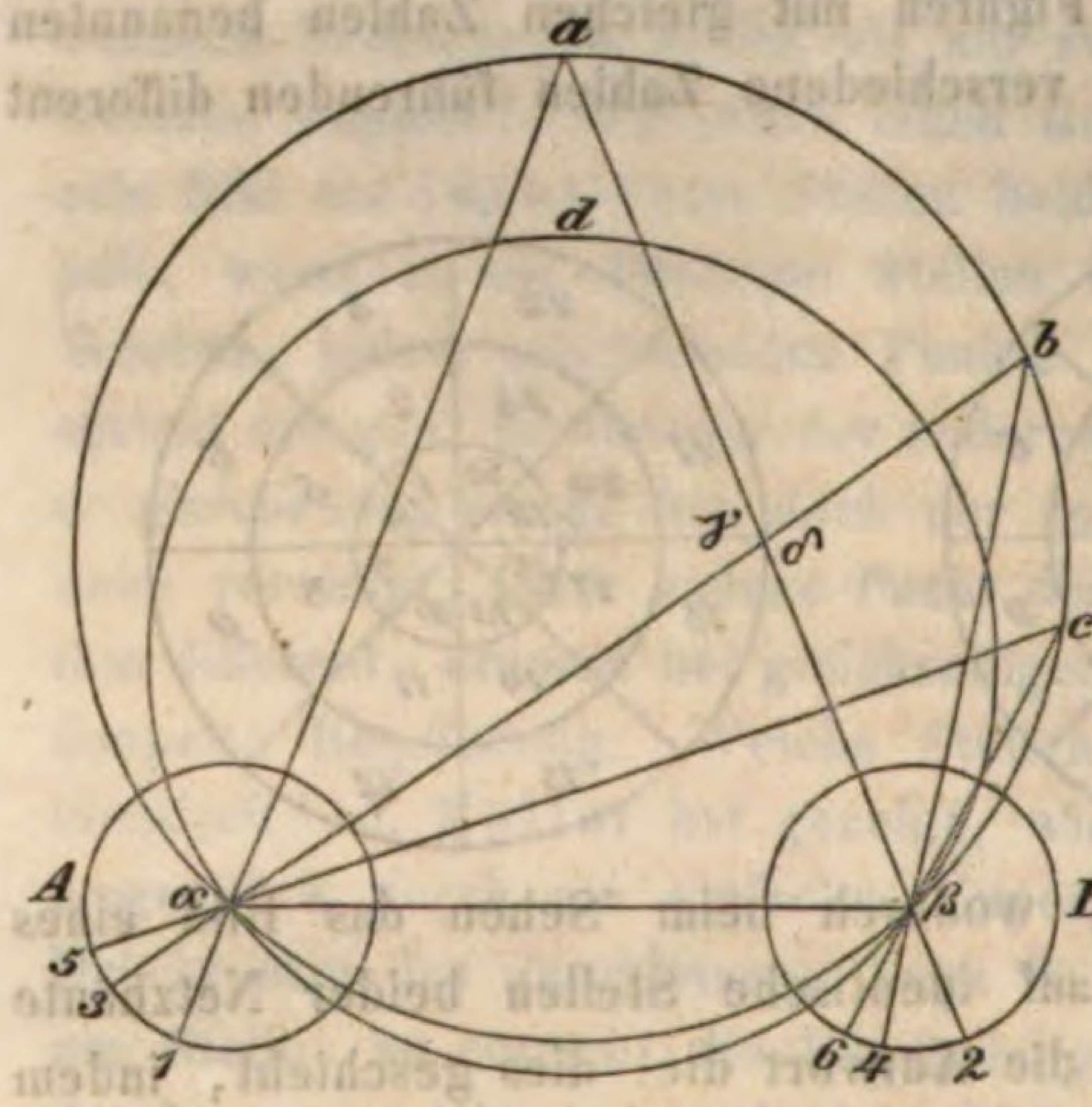
daher die in beiden Figuren mit gleichen Zahlen benannten Felder identisch, alle verschiedene Zahlen führenden different zu einander.



Fragen wir nun, wodurch beim Sehen das Bild eines leuchtenden Punktes auf identische Stellen beider Netzhäute gebracht wird, so ist die Antwort die: dies geschieht, indem wir beide Augen so richten, dass die Verlängerungen der optischen Achsen in dem fixirten Punkte zusammentreffen; das Bild des Punktes muss dann nothwendig in jedem Auge am hintern Ende der optischen Achse auf der Retina sich befinden, also in den beiden Polen, die wir als identisch kennen gelernt haben. Joh. Müller[1]) hat den mathematischen Beweis geliefert, dass nicht blos der fixirte Punkt, in dem sich die Augenachsen kreuzen, einfach gesehen wird, sondern auch alle diejenigen Punkte, welche auf einer Kreislinie liegen, die durch den fixirten Punkt und die Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen in beiden Augen gelegt, und Horopter genannt wird, mit anderen Worten, dass alle in dieser Kreislinie liegenden Punkte identische Stellen beider Netzhäute treffen müssen.

Sind A und B die beiden Augen (siehe die Figur auf Seite 582), a 1 und a 2 die beiden in dem fixirten Punkt a sich schneidenden Augenachsen, so sind nicht nur die Punkte 1 u. 2, die Pole, identisch, sondern auch 3 mit 4 und 5 mit 6, weil sie in beiden Augen gleichweit nach identischen Seiten vom Pole abstehen. Es muss also ein Punkt der in 3 und 4, und einer, der in 5 und 6 beider Netzhäute sein Bild hat, ebenso einfach

1) J. Müller, Phys. II. p. 378.



erscheinen als a. Um diese Punkte zu finden, zieht man von den identischen Stellen aus Linien durch die Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen α β beider Augen; wo sich diese schneiden, müssen die gesuchten Punkte liegen, also für 3 und 4 in b, für 5 und 6 in c. Der geometrische Beweis, dass die Punkte a b c in der oben bezeichneten Kreislinie liegen, ist leicht zu führen. Es lässt sich zeigen, dass die Winkel 1 a 2, 3 b 4, 5 c 6 gleich gross sein müssen [1]; es muss daher die Linie a b c eine Kreislinie sein, da nur „ein Kreis die Eigenschaft hat, dass die auf eine Sehne desselben gegen die Peripherie gerichteten Dreiecke gleiche Winkel an der Peripherie haben". Der Horopter ist daher nothwendig immer ein Kreis, welcher so durch den Kreuzungspunkt beider Augenachsen in einem fixirten Object gelegt wird, dass die Verbindungslinie beider Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen jedesmal eine Sehne desselben darstellt. Je ferner das fixirte Object, desto grösser, je näher, desto kleiner der Kreis. Für den Punkt d z. B. stellt der innere Kreis der Figur den Horopter dar.

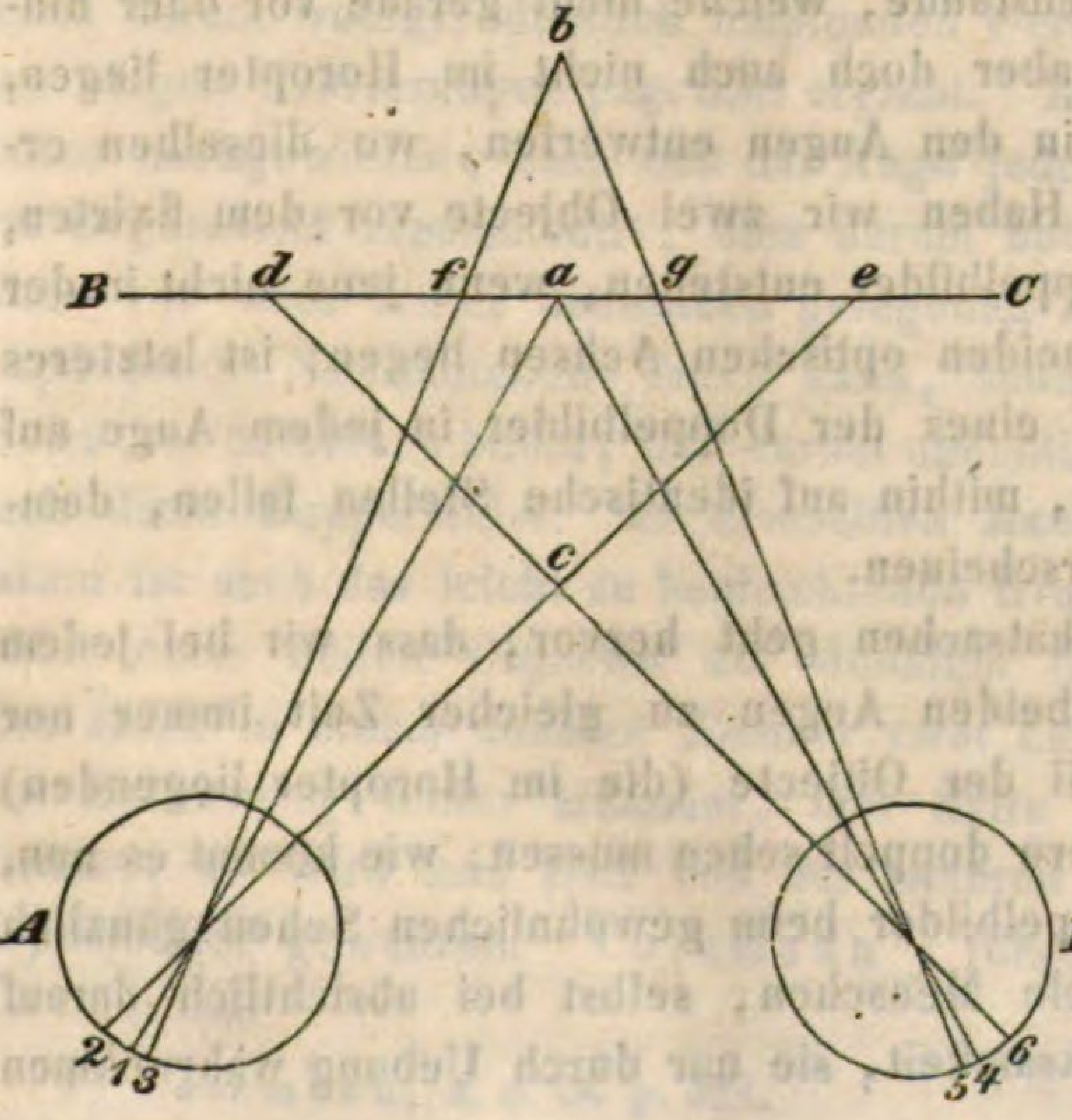
Die Ursache des Einfachsehens mit identischen Netzhautstellen sind wir nicht im Stande genügend zu erklären. Man hat auf verschiedene Weise [2] versucht, aus dem anatomischen Verhalten der Sehnervenfasern eine Erklärung abzuleiten, und entweder angenommen, dass eine einfach vom Gehirn kommende

---

1) Abstand 1 3 = 2 4, folglich $\angle 1\alpha 3 = \angle 2\beta 4$, folglich deren Wechselwinkel $\angle a\alpha b = \angle a\beta b$, ebenso $\angle \alpha\gamma a = \angle \beta\delta b$ als Wechselwinkel, folglich auch $\angle 1 a 2 = 3 b 4$. — 2) Vergl. J. Müller, a. a. O. p. 382.

Sehnervenfaser sich im *chiasma* in zwei Aeste spalte, die zu zwei identischen Stellen beider Netzhäute gingen, oder dass die von identischen Stellen kommenden Fasern im Gehirn gemeinschaftlich endigten, sich in einer Schlinge vereinigten; allein der directe Nachweis für alle diese anatomischen Hypothesen fehlt.

Jeder Punkt, welcher nicht im Horopter liegt, dessen Bild daher differente Stellen beider Netzhäute trifft, muss doppelt erscheinen. Fixiren wir also einen bestimmten Punkt, d. h. richten wir die Augenachsen so, dass sie sich in diesem Punkt schneiden, so wird eben sowohl ein vor, als ein hinter demselben gelegener Punkt doppelt erscheinen müssen, weil sein Bild auf differente Stellen fällt. Fixiren wir mit beiden Augen einen vor dieselben gehaltenen Finger, so erscheint ein hinter demselben gelegener Baum, dem wir, ohne den Blick zu verwenden, die Aufmerksamkeit zuwenden, doppelt, fixiren wir den Baum, so erscheint umgedreht der Finger doppelt. Betrachten wir einen Faden, der in horizontaler Ebene senkrecht auf die Verbindungslinien beider Augenmittelpunkte ausgespannt ist, so erscheinen stets zwei Fadenbilder, welche sich an dem Punkte kreuzen, den wir fixiren, in dem sich also die Augenachsen kreuzen. Aus der folgenden Figur lässt sich leicht demonstriren, nicht allein, dass Doppelbilder durch Affection differenter Netzhautstellen entstehen, sondern auch, in welcher Lage dieselben erscheinen, in welcher Richtung sie von jedem Auge gesehn werden müssen.



Fixiren wir den Punkt a, so stellen wir die Augenachsen so, dass sie sich in a kreuzen; a er-

scheint daher einfach, weil sein Bild identische Netzhautstellen, die beiden Enden der Sehachsen 1 und 4 trifft. Ein vor a gelegener Punkt c muss doppelt erscheinen, weil sein Bild im Auge A auf 2 im Auge B auf 6 fällt, diese Stellen aber nicht identisch sind, da sie in beiden Augen nach aussen von den Polen liegen. Ebenso muss der fernere Punkt b doppelt erscheinen, weil sein Bild auf 3 und 5, also auf zwei nach innen von den Polen gelegene, demnach differente Stellen der Netzhaut fällt. Wenn wir nun die in 3 und 5, 2 und 6 empfundenen Doppelbilder nach aussen versetzen, und zwar in die Ebene, in welcher der fixirte Punkt liegt, die Fixationsebene B C, so müssen die beiden Doppelbilder von c in d und e gesehen werden, die von b dagegen in f und g. Es gehört daher von c das linke Doppelbild d dem rechten Auge B, das rechte Doppelbild e dagegen dem linken Auge A an; für b aber verhalten sich die Doppelbilder entgegengesetzt, d. h. jedes Doppelbild gehört dem Auge der Seite an, auf welcher es gesehn wird, also das rechte g dem rechten Auge B, das linke f dem linken Auge A. Schliessen wir daher das linke Auge A, so verschwindet von b das linke, von c dagegen das rechte Doppelbild, und umgekehrt.

Es ist leicht einzusehen, und jedesmal durch Construction zu finden, wo Gegenstände, welche nicht gerade vor oder hinter dem fixirten, aber doch auch nicht im Horopter liegen, ihre Doppelbilder in den Augen entwerfen, wo dieselben erscheinen müssen. Haben wir zwei Objecte vor dem fixirten, so müssen vier Doppelbilder entstehen, wenn jene nicht in der Verlängerung der beiden optischen Achsen liegen; ist letzteres der Fall, so muss eines der Doppelbilder in jedem Auge auf den Pol der Achse, mithin auf identische Stellen fallen, demnach nur einfach erscheinen.

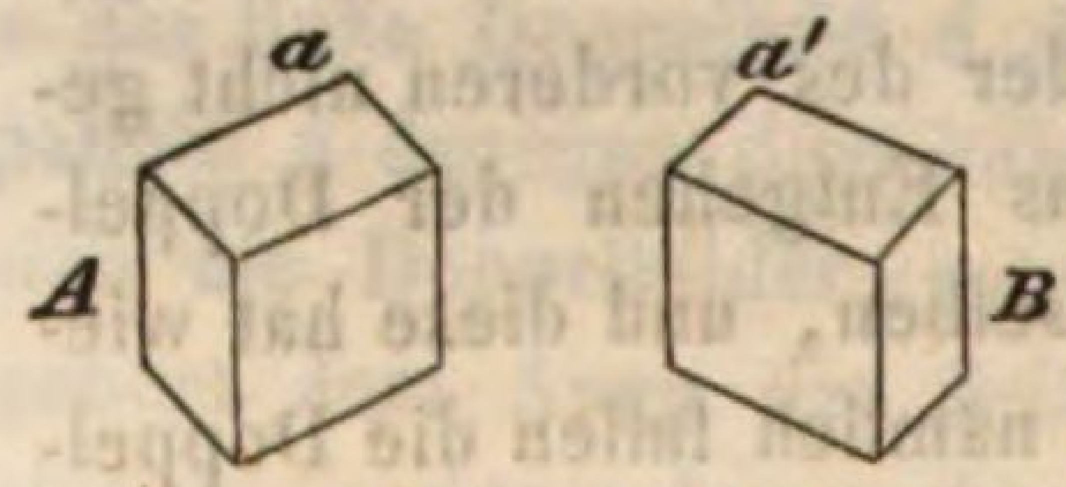
Aus diesen Thatsachen geht hervor, dass wir bei jedem Gebrauch unserer beiden Augen zu gleicher Zeit immer nur einen kleinen Theil der Objecte (die im Horopter liegenden) einfach, alles Andere doppelt sehen müssen; wie kommt es nun, dass uns diese Doppelbilder beim gewöhnlichen Sehen gänzlich entgehen, dass viele Menschen, selbst bei absichtlich darauf gerichteter Aufmerksamkeit, sie nur durch Uebung wahrnehmen

lernen? Zweierlei Umstände machen dieses Uebersehen erklärlich. Erstens ist es eine natürliche Gewohnheit, dass wir nur auf das, was wir fixiren, unsere Aufmerksamkeit richten, oder umgedreht das, was wir beachten wollen, auch fixiren, d. h. also die Augenachsen darauf zur Kreuzung bringen; der Einfluss der Aufmerksamkeit ist aber so beträchtlich, dass alles, worauf sie nicht gerichtet ist, uns leicht gänzlich entgeht, wie die alltägliche Erfahrung lehrt. Ich habe mehrere Personen getroffen, welche die Doppelbilder eines hinter den andern gehaltenen Fingers nicht wahrnehmen konnten, weil sie, sobald sie die Aufmerksamkeit auf den hinteren lenken wollten, bei fortgesetzter Fixirung des vorderen, unwillkührlich jedesmal auch den Blick, d. h. die Augenachsen auf den hinteren richteten, und nun wieder die Doppelbilder des vorderen nicht gewahrten. Ein zweiter Grund für das Entgehen der Doppelbilder liegt in der Undeutlichkeit derselben, und diese hat wieder einen zweifachen Grund. Einmal nämlich fallen die Doppelbilder stets mehr oder weniger entfernt von den Stellen des deutlichen Sehens auf die seitlichen Retinaparthieen, da die centralen, wegen der Convergenz der Augenachsen, von den Bildern des fixirten Objectes eingenommen werden, müssen also schon darum weniger deutlich empfunden werden, wie sich aus den obigen Erörterungen pag. 558 ergiebt. Zweitens haben wir früher nachgewiesen, dass sich das Auge jedesmal für den fixirten Gegenstand accommodirt, dass darum nothwendig das Bild eines vor oder hinter demselben gelegenen nicht genau in die empfindende Netzhautebene fallen kann, sondern Zerstreuungskreise auf derselben bildet, und darum undeutlich erscheint, also auch diese Doppelbilder. In demselben Mangel an Accommodation ist auch das leicht zu beobachtende Irradiiren der Doppelbilder eines hellen Objectes auf dunklem Grunde begründet. Man stelle in einem dunklen Zimmer zwei Lichtflammen in einiger Entfernung hinter einander, und fixire die hintere oder vordere, so wird man stets von der anderen zwei irradiirende Doppelbilder gewahren. Volkmann[1]) führt noch einen wei-

1) Volkmann, a. a. O. p. 321.

teren Grund für das Entgehen der Doppelbilder an; jede Stelle nämlich, auf welche ein Doppelbild fällt, hat eine identische im anderen Auge, welche aber in diesem Falle ein differentes Bild empfängt und in dieselbe Stelle des gemeinschaftlichen Sehfeldes zu setzen sucht. Es entsteht daher „ein Wettstreit identischer Netzhautstellen in der Production verschiedener Bilder für einen und denselben Ort, welcher die Empfindung verwirren und das Doppelbild undeutlich machen muss.“

Wheastone [1]) leugnet, dass das Einfachsehen der Objecte durch die Lehre von identischen Netzhautstellen zu erklären sei. Hält man einen Würfel nahe vor das Gesicht, so dass eine Kante gerade der Gesichtsebene zugekehrt ist, so muss er in jedem Auge ein anderes Bild entwerfen, im linken wie A, im rechten wie B; es können demnach nicht die identischen Netzhautstellen von vollkommen gleichen Eindrücken getroffen werden, gewisse Punkte, wie z. B. die hintere Ecke (a und a′) müssen auf differente Netzhautstellen fallen, und



doch macht der Würfel einen einfachen Eindruck. Zeichnet man die beiden Figuren, die den Ansichten beider Augen entsprechen, neben einander hin, und bringt die Augenachsen so zur Convergenz, dass die beiden Bilder auf dieselben Netzhautstellen fallen, wie beim Betrachten des Würfels selbst, so verschmelzen sie zu einer einfachen Anschauung, so dass man den Würfel selbst körperlich vor sich zu erblicken glaubt. Wheastone hat ein Instrument angegeben, das Stereoskop, durch welches mittelst Spiegelung [2]) diese beiden Zeichnungen auf die ihnen zukommenden Netzhautstellen gebracht werden; mit diesem kann man sich sehr leicht von der fraglichen Thatsache überzeugen. Wheastone schliesst aus derselben, dass die Lehre von den identischen Netzhautstellen als Ursachen des Einfachsehens nicht richtig sei. Schon Brücke [3]) und Tourtual [4]), noch ausführlicher Volkmann [5]) haben diesen Einwand Wheastone's widerlegt; sie haben hervorgehoben, dass die einfache Anschauung eines Körpers nicht aus der unmittelbaren Empfindung hervorgehe, sondern das Product einer in der Vorstellung vorgenommenen Combination der beiden

1) Wheastone, Poggend. Ann. 1843. Bd. LI. Suppl. — 2) Vgl. die Abbildung in Valentin's Phys. Bd. II. p. 222. — 3) Brücke, Müller's Arch. 1841. p. 459. — 4) Tourtual, ebendas. 1842. p. 21. (u. in einer bes. Schrift: Die Dimension der Tiefe im freien Sehen u. s. w. Münster 1842). — 5) Volkmann, a. a. O. p. 323.

differenten Anschauungen sei, dass also durch eine psychische Action die Differenzen der Empfindung beider Augen ausgeglichen werden. Wir übersehen und erfassen ein Gesichtsobject mit Tiefendimensionen in seiner reellen körperlichen Gestalt nicht, um so zu sagen, „auf einen Ritt", d. h. auf einen einzigen unveränderten Blick, sondern wie wir beim Mikroskop auf- und niederschrauben, um alle verschiedenen unter einander liegenden Schichten eines Objectes in den Focus zu bringen, so bringen wir nach einander die näheren und ferneren Punkte eines Körpers in den Convergenzpunkt der Augenachsen, d. h. wir verlegen den letzteren durch kleine Augenbewegungen, lassen ihn die Tiefe des Objectes gleichsam durchwandern, und combiniren dann diese nach einander gewonnenen Anschauungen zu einem Ganzen, zu einer einfachen Vorstellung. Volkmann bringt noch einen vortrefflichen Beweis gegen die Erklärung der einfachen Anschauung eines Körpers aus unmittelbarer Empfindung bei; wenn man nämlich bei einem dicht vor das Auge in der genannten Weise gehaltenen Würfel oder bei dem stereoskopischen Bilde desselben die hinterste Ecke (a a′) fixirt, so erscheint wirklich die vordere Kante doppelt, weil ihr Bild auf differente, d. h. auf die beiden äusseren Netzhautparthieen fällt.

Nach der oben erörterten Lehre von der Verschmelzung der Empfindungen zweier identischer Netzhautstellen zu einer einfachen, sollte man erwarten, dass die Eindrücke zweier verschiedener Farben auf identische Stellen beider Augen ebenfalls eine einfache Empfindung, d. h. die Empfindung der entsprechenden Mischfarbe hervorrufen sollten. Dies ist aber nicht der Fall; hält man vor das eine Auge ein gelb gefärbtes Glas, vor das andere ein blau gefärbtes und sieht gegen eine weisse Fläche, so erscheint dieselbe nicht grün, wie man erwarten sollte, sondern entweder gelb oder blau, beide Farben nehmen abwechselnd das Gesichtsfeld ein, oder auch die eine Farbe erscheint fleckenweise auf dem von der anderen Farbe eingenommenen Hintergrund; eine vollkommene Verschmelzung beider Farben zu einem reinen Grün tritt auch nach anhaltender Fortsetzung des Versuches nicht ein, wenn sich dann auch zuweilen auf Augenblicke eine schmutzig-grünliche Färbung einstellt. Sie tritt ferner ebenfalls nicht ein, wie einige Beobachter glauben, wenn man vollkommen reine Farben (die verschiedenen prismatischen Farben) zu dem Versuch verwendet, wenigstens bei den meisten Personen nicht. Warum diese Verschmelzung nicht

stattfindet, ist eine noch nicht genügend beantwortete Frage; man hat diese Thatsache als Einwand gegen die Identitätslehre benutzt, jedoch ohne Grund. Es lässt sich recht wohl denken, dass, wenn zwei identische Stellen vollkommen gleiche Eindrücke erhalten und durch die ihnen entsprechenden Fasern zum Centralorgan leiten, dort die zwei identischen Empfindungen sich gleichsam summiren zu einer einzigen, eine in der anderen aufgeht, dass aber, wenn dieselben identischen Stellen in zwei wesentlich verschiedene Erregungszustände versetzt werden, und letztere gleichzeitig ins Centrum gelangen, dort keine Mittel vorhanden sind, welche die beiden differenten Nervenactionen zu einer gemischten Empfindung combiniren, wie wir sie aus rein physikalischer Anschauung voraussetzen.

Volkmann will gefunden haben, dass selbst in solchen Fällen, wo ein und derselbe Punkt eines Auges gleichzeitig von verschiedenfarbigem Lichte getroffen werde, nicht nothwendig eine Verschmelzung beider Eindrücke zur Empfindung der Mischfarbe eintrete. Ich kann mich jedoch nicht überzeugen, dass bei seinen Versuchen (beim Betrachten eines sehr schmalen 3″ vom Auge gehaltenen, gefärbten Papierstreifens gegen einen anders gefärbten, etwa 12″ entfernten Hintergrund) wirklich ein und derselbe Netzhautpunkt gleichzeitig die Eindrücke beider Farben in gleich intensiver Weise erhalte; dass eine Farbe die andere auf einer Netzhautstelle bei gleichzeitiger Einwirkung unter gewissen Bedingungen übertönen kann, haben wir bei der Irradiation gesehen.

§. 142.

Wir haben in den letzten Paragraphen schon mehrfach von den Bewegungen der Augäpfel, und deren Bedeutung für die Gesichtswahrnehmung gehandelt, ohne jedoch auf die Mechanik des Bewegungsapparates näher einzugehen. Diese ist es, welche wir jetzt noch im Zusammenhang zu betrachten und etwas genauer zu zergliedern haben.

Jedes Auge ist bekanntlich mit sechs Muskeln, den vier geraden und den zwei schiefen, ausgestattet, welche willkührlich, aber nur den bestimmten vorgesetzten Zwecken entsprechend, sich contrahiren können, d. h. wir können jeden Muskel des einen Auges vollkommen willkührlich bewegen, dem einzelnen Auge willkührlich jede beliebige Stellung innerhalb der

Gränzen, die durch die Beschaffenheit des ganzen Mechanismus gesetzt sind, geben, nicht aber können wir vollkommen willkührlich die verschiedenen Bewegungsarten beider Augen combiniren, nicht beliebige Muskeln der beiden Augen zusammenwirken lassen. Da nämlich die Hauptaufgabe dieser Bewegungen die ist, beide Augen stets so zu stellen, dass das zu betrachtende Object im Kreuzungspunkt beider Sehachsen, d. h., dass identische Stellen beider Netzhäute dem Objecte gerade gegenüberliegen, so sind wir auch nicht im Stande, Bewegungen, welche diesem Zwecke gerade zuwiderlaufen, mit der Muskulatur beider Augen auszuführen; z. B. wir können nicht gleichzeitig an dem einen Auge den obern geraden, an dem andern den untern geraden Muskel wirken lassen, so dass das eine Auge seine Sehachse nach oben, das andere nach unten lenkte, auch die gleichzeitige Bewegung der beiden äussern geraden Augenmuskeln ist sehr beschränkt und tritt nur ein, wenn wir von einem kleinen, sehr nahen Objecte die Augen auf einen entfernten Gegenstand wenden. Sie erreicht ihre Gränze, sobald die Augenachsen parallel gerichtet sind, d. h. in einem unendlich entfernten Punkte sich kreuzen; zur Divergenz nach vorn können letztere durch die äusseren geraden Muskeln nicht gebracht werden.

Sämmtliche Muskeln eines Augapfels verrücken bei ihrer Contraction den Augapfel nicht von seiner Stelle, sondern rollen ihn um einen bestimmten, unbeweglichen Punkt, den Drehpunkt, der 5—6‴ hinter dem vordersten Punkte der Hornhaut liegt.

Die Hauptbewegung des Auges ist dreifach:

1) nach aufwärts und abwärts um eine feste Achse, welche von aussen und vorn nach innen und hinten durch den Drehpunkt geht und die optische Achse unter einem Winkel von 70° schneidet, durch den obern und untern geraden Augenmuskel.

2) Nach einwärts und auswärts, um eine Achse, welche senkrecht durch den Drehpunkt geht, durch den innern und äussern geraden Augenmuskel.

3) Ein Rollen des Augapfels in der Art, dass die Pupille sich nach unten und aussen stellt, durch den obern schiefen, oder

nach oben und innen stellt, durch den untern schiefen Augenmuskel. Diese Bewegung geschieht um eine Achse, welche annäherungsweise von dem äussersten Punkte der Hornhaut durch den Drehpunkt horizontal und schief nach einwärts und rückwärts geht.

Gemischte Bewegungen entstehen, wenn zwei einander zunächst liegende gerade Augenmuskel zugleich wirken, folglich das Auge in der Diagonale zwischen beiden gerollt wird, z. B. wenn der obere und der äussere, oder der obere und der innere, oder der innere und untere zugleich wirken.

Aus dem schon angegebenen Zweck erklärt sich auch die Nothwendigkeit der Association mehrer gleichnamiger oder ungleichnamiger Muskeln beider Augen zu gleichzeitiger Thätigkeit. Es wirken gewöhnlich zugleich:

1) Die beiden untern geraden,

2) die beiden obern geraden,

3) die beiden inneren geraden,

4) der innere gerade des einen und der äussere gerade des andern Auges,

5) der obere schiefe des einen und der untere schiefe des anderen Auges, wenn das Object in mittlerer oder weiter Entfernung vom Auge liegt,

6) die beiden untern schiefen, wenn das Object dem Auge sehr nahe liegt.

Interessant sind die Resultate, welche Volkmann[1]) aus seinen Untersuchungen über die Schnelligkeit der Augenbewegung erhalten hat; die mögliche Schnelligkeit der Augenbewegung ist bedeutend geringer, als die vieler andern Muskeln, denn nach Valentin kann ein geübter Klavierspieler den Zeigefinger beim Trillern in einer halben Minute 200 Mal beugen und strecken, welcher rasche Wechsel in der Bewegung der Augen unmöglich ist, aber auch zwecklos sein würde. Ferner stellt Volkmann folgende Sätze auf:

1) Bei gleicher Entfernung der Objecte und bei unveränderter Stellung der Ebene, in welcher sie liegen, wächst die

---

1) Volkmann, a. a. O. p. 278.

Schnelligkeit der Augenbewegung mit der Verkleinerung des zu beschreibenden Winkels, ausgenommen, wenn die Grösse des letzteren unter 7° fällt, wo dann die Beschleunigung der Bewegung aufhört.

2) Die Lage der Ebene, in welcher die gleichweit entfernten Objecte liegen, hat Einfluss auf die Dauer der Bewegung, indem gleich grosse Bewegungen am schnellsten in der lothrechten, langsamer in der horizontalen oder schiefen Ebene ausgeführt werden.

3) Bewegungen, welche von beiden Augen ausgeführt werden, verlangen beträchtlich mehr Zeit, als Bewegungen nur eines Auges (wahrscheinlich weil die Kreuzung der Sehachsen nicht gleich zu finden ist).

4) Mit zunehmender Grösse der Bewegung wächst die Dauer derselben in schnellerer Progression, wenn beide Augen beim Sehen betheiligt sind, als wenn nur eines benutzt wird.

5) Ungleiche Entfernung der abwechselnd fixirten Objecte hat einen bedeutend retardirenden Einfluss auf die Augenbewegung.

Noch ist hier des interessanten Umstandes zu gedenken, dass alle die Augenmuskeln bei schiefer Haltung des Kopfes auch scheinbar unwillkührlich wirken. Stellt man sich nämlich vor einen Spiegel und sucht sich bei aufrechter Haltung des Kopfes irgend ein horizontal verlaufendes Blutgefässchen der Conjunctiva auf, legt nun den Kopf möglichst weit nach einer Seite, so sollte doch das Blutgefässchen aus der horizontalen Lage herauskommen, allein das geschieht nicht, vielmehr bleibt dasselbe und mit ihm der Augapfel in der horizontalen Lage. Dabei kann man durch Fixiren der in der Iris etwa vorhandenen Flecken noch bemerken, dass der Augapfel sich nicht um die Achse der schiefen Augenmuskeln, sondern um die optische Achse, welche durch die Mitte der Pupille geht, dreht. (Hück.) Wäre dieses nicht der Fall, so könnte man ja die ganze Beobachtung nicht an sich selbst machen. Ich halte diese Bewegung des Auges nur für scheinbar unwillkührlich, denn indem man die Beobachtung macht, fixirt man einen Punkt, Blutgefäss, Fleck der Iris, den man eben nicht wieder verlieren

will, folglich wird das Auge bei jeder Bewegung des Kopfes so gestellt, dass das Object immer derselben Stelle der Netzhaut, dem gelben Fleck, gegenüber bleibt, auch seine Lage zu derselben nicht verändert, was also offenbar durch einen willkührlichen Act geschieht.

§. 143.

Wie die bisher betrachteten Sinnesorgane ihre Hülfs- und Nebenorgane haben, so hat sie auch das Auge. Es gehört dahin (ausser den eben betrachteten Muskeln) das Fett der Augenhöhle, die Augenlider mit den Augenbrauen und der Thränenapparat.

§. 144.

Das Fett der Augenhöhle liegt zum grössten Theil ausserhalb, zum kleinsten Theil innerhalb des von den Augenmuskeln begränzten Kegels und zwischen diesen Muskeln. Beide Theile dieses Fettes werden durch die zartsehnige Bonnet'sche Kapsel von einander getrennt; von der unmittelbaren Berührung mit dem Augapfel wird es durch die Tenon'sche Kapsel geschieden. Durch dieses Fett wird die Lage des Augapfels gesichert, dessen Bewegung erleichtert, besonders aber in Gemeinschaft mit der Wirkung der Augenmuskeln der Drehpunkt des Augapfels festgekalten. Selbst bei grosser Abmagerung schwindet dieses Fett nicht ganz.

Bei einem jungen Bauerburschen, der wegen vollkommner Verschliessung des untersten Theiles des Schlundes eines langsamen Hungertodes starb, war auch das Fett der Augenhöhle so weit geschmolzen, dass der Augapfel durch die geraden Muskeln weit in die Augenhöhle zurückgezogen war, und die sich weit nach rückwärts beugenden Augenlider ihn nicht erlangen und bedecken konnten, er selbst auch fast unbeweglich in der Tiefe lag.

§. 145.

Den wichtigsten Schutz gegen äussere Schädlichkeiten gewähren dem Auge die Augenlider und Augenbrauen. Letztere ruhen auf einem sanften, theils vom Knochen, theils vom *m. corrugator superciliorum* gebildeten Wulst über dem Auge

und sind dadurch, wie durch die Richtung der sie zusammensetzenden Haare, ganz geeignet, den von der Stirn herabrinnenden Schweiss von den Augen abzuhalten, so wie denselben einigen Schatten zu gewähren. Letztere, die Augenlider sind zwei bewegliche Hautfalten, von denen jede noch verschiedene Gewebe zwischen ihre beiden Platten aufnimmt.

Das Gewebe der hier vorkommenden Haut, der Muskeln und des Bindegewebes hat nichts Eigenthümliches, als die Fettlosigkeit. Dass die sogenannten Augenlidknorpel nicht wirkliche Knorpel, sondern aus Bindegewebe gefilzte Platten sind, ist schon Bd. I. p. 353 gesagt; nur zuweilen findet man einzelne kleine Knorpelzellen in ihnen. Wichtig und einer besonderen Beachtung werth ist der Bau der Bindehaut der Augenlider und der Meibom'schen Drüsen. Die Letzteren gehören zwar zu den traubigen Drüsen, sind aber als solche sehr einfach, d. h. sie bestehen aus einem Schlauche, der nur kurze bläschenartige Ausbuchtungen, nicht aber wiederum mehrfach getheilte traubige Anhänge hat. Die Drüsenhaut ist einfach, im Innern mit Pflasterepithel belegt. Der ausgepresste Inhalt zeigt unter dem Mikroskope, wie andere Secrete mehr oder weniger im Zerfallen begriffene, kleine Fetttröpfchen enthaltende Zellen, Zellenkerne, Epithel und Fettbläschen. In chemischer Beziehung ist etwas Genaueres über dieses Absonderungsproduct nicht bekannt.

Die Bindehaut der Augenlider ist eine Fortsetzung der Cutis, welche den Charakter einer Schleimhaut angenommen hat, eine bindegewebige Grundlage besitzt, in welcher sich ein dichtes Gefässnetz und zahlreiche Nerven ausbreiten. Auf dieser Grundlage erheben sich, wie auf der Haut, die sogenannten Papillen der Conjunctiva, dicht gedrängt in der Höhe von 0,04''' bis 0,06'''. Ueber diesen Papillen liegt ein Pflasterepithelium, welches in der Nähe der freien Ränder geschichtet ist, nach dem Uebergange der Bindehaut der Lider in die des Augapfels hin sich aber mehr erhebt, dem Cylinderepithel ähnlich wird.

Die Drüsen der Bindehaut sind ihrer Zahl nach früher oft überschätzt worden, indem man die Papillen für Drüsen ansah (Malpighi, Morgagni, Eble u. A.). Die wahren Drüsen

befinden sich hauptsächlich in der Falte zwischen Bindehaut der Lider und des Augapfels, sind klein, wenig zusammengesetzt und mit kurzem weiten Ausführungsgange versehen.

Die Function der Augenlider besteht:

1) in mechanischem Schutz des Augapfels gegen fremde, sich demselben nähernde Körper, störende Reize, Staub, Schweiss, zu helles blendendes Licht etc., indem sie sich bei Annäherung der fremden Dinge unwillkührlich schliessen;

2) darin, dass sie durch ihre Bewegung die durch die Thränendrüse, Meibom'sche Drüsen etc. abgesonderten Feuchtigkeiten über den ganzen Augapfel führen, dadurch die vordere Fläche des Augapfels stets feucht halten und die Möglichkeit geben, dass das daselbst befindliche Epithelium sich mit Feuchtigkeit imbibirt, und dadurch sich rein und hell durchsichtig erhalte. Auch der natürliche Glanz gesunder Augen hängt von dieser Beschaffenheit der vordern Fläche des Augapfels ab.

3) Es wird durch den Apparat der Lider und deren Thätigkeit auch ein Eintrocknen der Hornhaut selbst verhütet, welches nothwendig Undurchsichtigkeit zur Folge hätte.

Um diese verschiedenen Zwecke erfüllen zu können, findet sich an der hintern Fläche jedes Augenlides, zunächst dem freien Rande, und durch dessen hervorragende Dicke bedingt, eine seichte Furche, in welcher sich die äussern Feuchtigkeiten des Auges so weit als nöthig ansammeln um durch die Bewegung der Lider über den Augapfel verbreitet werden können. Die Bewegung der Augenlider geschieht durch den Schliessmuskel der Augenlider und den Hebemuskel des obern Augenlides. Der Schliessmuskel bewirkt durch den inneren, zwischen den Platten der Augenlider gelegenen Theil das einfache ruhige Schliessen der Augen, wobei das untere Augenlid sich nur wenig hebt, während er durch den äussern, in dem Umfange der Lider gelegenen Theil, beim festen Zusammenkneifen der Lider thätig ist, aber auch für sich allein wirken kann und dann die Haut, unter welcher er liegt, in Fältchen zusammen drängt, und die Spalte der Augenlider verengert und verkürzt. Dieser äussere Theil des Augenlidschliessers wirkt vorzüglich dann allein, wenn wir bei zu hellem Lichte die Gegenstände betrachten. Unterstützt wird diese Wirkung durch den *m. corrugator supercilii*. Das Oeffnen der Lidspalte geschieht theils durch den Nachlass in der Wirkung des Lidschliessers, wodurch das untere Lid etwas herabsinkt, theils durch den Hebemuskel des obern Lides, dessen mechanische Verhältnisse und Wirkung sehr einfach sind.

§. 146.

Die schon erwähnten Thränen werden in der Thränendrüse und deren Anhang abgesondert, durch 8—15 zarte Ausführungsgänge am obern Augenlid, mehr nach aussen hin, wenig entfernt von der Uebergangsstelle der Bindehaut der Lider in die des Augapfels so ergossen, dass sie sogleich den obern Theil der vordern Augapfelfläche befeuchten, sich in der oben erwähnten Furche der Lider ausbreiten, und durch die Bewegung der letztern über den ganzen Augapfel verwischt werden.

Ausser den eigentlichen Thränendrüsen betheiligt sich an der fraglichen Secretion in geringem Grade auch die Conjunctiva, theils durch die genannten Drüsen, theils durch unmittelbare Ausschwitzung aus den Blutgefässen; nach Exstirpation der Thränendrüsen wird die Conjunctiva von ihrem eigenen Secret feucht erhalten, wie durch Versuche erwiesen ist. Die alte Annahme, dass der *humor aqueus* durch die Hornhaut durchschwitze und die Thränen liefern helfe, ist hinlänglich widerlegt. Frerichs wiess durch directe Versuche nach, dass die Hornhaut eher platzt, als dass sie eine Spur Flüssigkeit mittelst Compression durch sich durchtreten lässt. Indem nun die Thränen durch die genannte Furche jedes Augenlides, so wie durch die Rinne, welche sich beim Schliessen der Augenlider an deren Rande bildet, nach einwärts gegen den Thränensee hingeleitet werden, werden sie auch den Thränenpunkten zur Aufsaugung dargeboten und von diesen durch die Thränenkanälchen und den Thränenkanal in die Nase abgeführt. Das Gewebe der ableitenden Gänge und Kanäle besteht im Wesentlichen aus Bindegewebe mit beigemengten elastischen Fasern; die innere Oberfläche ist bei den Thränenkanälchen mit Pflasterepithel, bei dem Thränensack und Nasengang mit Flimmerepithel belegt. Wo diese Kanäle durch Knochen gehn (Thränenkanal), hängen sie nach aussen mit der fibrösen Knochenhaut unmittelbar zusammen, dagegen, wo sie durch Weichtheile gehn (Thränenkanälchen), sind sie mit contractilen Kreisfasern und Längsfasern umsponnen.

Im gewöhnlichen Zustande ist die Absonderung der Thränen, welche unter dem Einflusse des *trigeminus* steht, so gering, dass sie eben hinreichen, die vordere Fläche des Augapfels feucht zu erhalten und kaum in bemerkbarer Menge nach der Nase abfliessen. Treffen aber scharfe Dünste, Gerüche die Nase und Augen, oder wird durch Schmerz oder Freude, Rührung eine stärkere Innervation nach den Thränendrüsen veranlasst, so wir dauch die Absonderung der Thränen vermehrt. Anfangs langt die Thätigkeit der Thränenkanälchen noch aus, die

im innern Augenwinkel zu einem Tropfen sich ansammelnden Thränen in die Nase abzuführen, von wo sie dann auch durch die Nasenöffnungen abfliessen; allein wird die Absonderung noch stärker, so können die Thränenkanälchen nicht alle Thränenfeuchtigkeit aufnehmen und diese muss dann über die Wangen abfliessen, d. i. das Weinen. Wenn durch krankhafte Zustände die Thränenkanälchen oder der Thränenkanal geschlossen sind, so fliessen die Thränen stets über die Wange und corrodiren, wie jede der Haut fremdartige Absonderungsflüssigkeit, dieselbe. Das Mittel, welches die Thränen durch die genannten Kanälchen aufsaugt, ist ohnstreitig die Inspiration, wie E. H. Weber zuerst nachgewiesen. Das Ueberströmen der Thränen beim Lachen beruht auf einer gehinderten Einsaugung in Folge der anhaltenden Exspirationen, nicht auf einer vermehrten Secretion.

Ueber die chemische Constitution der Thränen wusste man bisher nichts, als die oberflächlichen Data, welche Fourcroy und Vauquelin 1791 bei ihren Untersuchungen gefunden; die Thränen bestanden nach ihnen aus einer wässerigen Lösung von Kochsalz, einigen Phosphaten und einem sogenannten Thränenstoff (zusammen 1 % feste Bestandtheile). Frerichs [1]) verdanken wir neuerdings eine exactere Untersuchung des Secrets, von dem er sich durch Galvanisiren grössere Mengen verschaffte; die wichtigsten Ergebnisse seiner Untersuchungen sind folgende: Die Thränenflüssigkeit setzt beim Stehen ein weisses, flockiges aus Bindehautepithelien und einigen Fetttröpfchen (vom Meibom'schen Secret) bestehendes Sediment ab, reagirt constant stark alkalisch, enthält 0,94—1,30 % feste Bestandtheile, darunter etwa 0,5 % Mineralbestandtheile. Die organische Materie besteht hauptsächlich aus Albumin mit Spuren von Fett und Extractivstoffen, die Asche vornehmlich aus Chlornatrium mit phosphorsauren Alkalien und Spuren von Erdphosphaten.

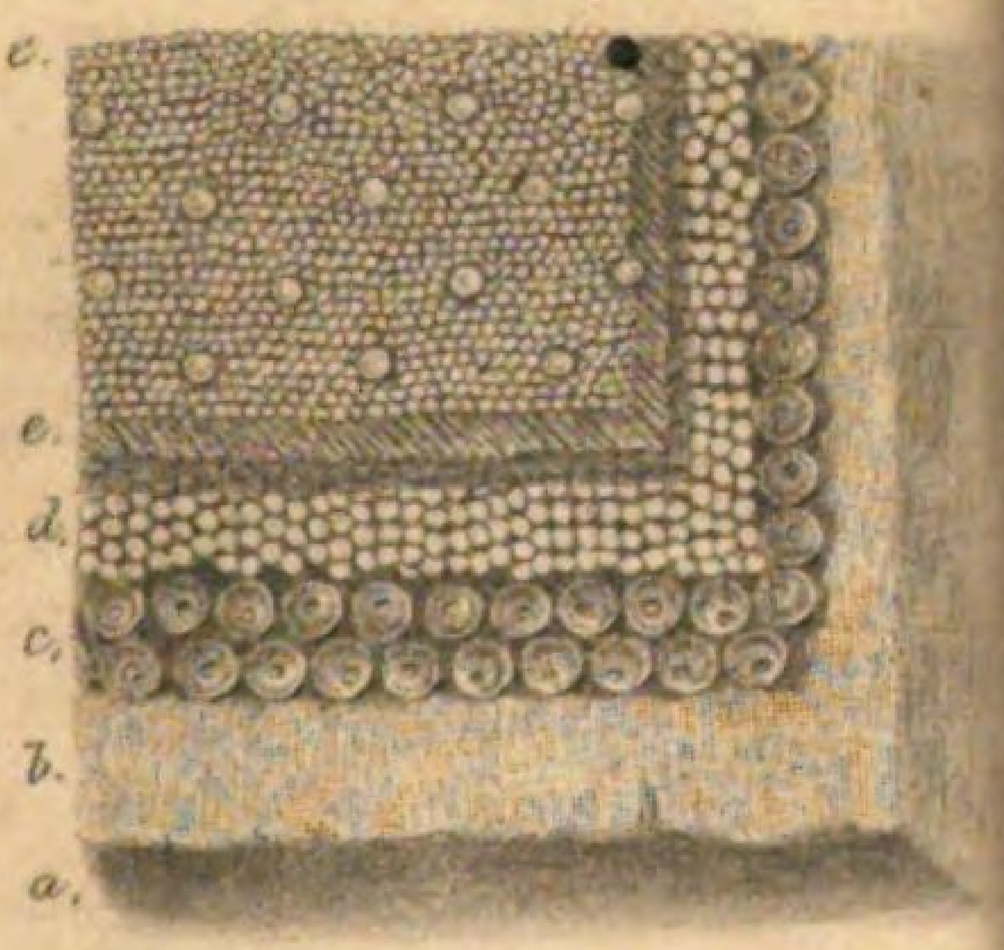
Der Nutzen, welchen die äussern Feuchtigkeiten des Auges für dieses haben, ist schon oben angegeben worden. Welchen Zweck und Nutzen das Weinen bei Gemüthsbewegungen für die Oeconomie des Körpers habe, und auf welche Art wenige Thränen bisweilen erleichternd und beruhigend auf den psychischen und körperlichen Zustand Leidender wirken, ist noch ganz unbekannt.

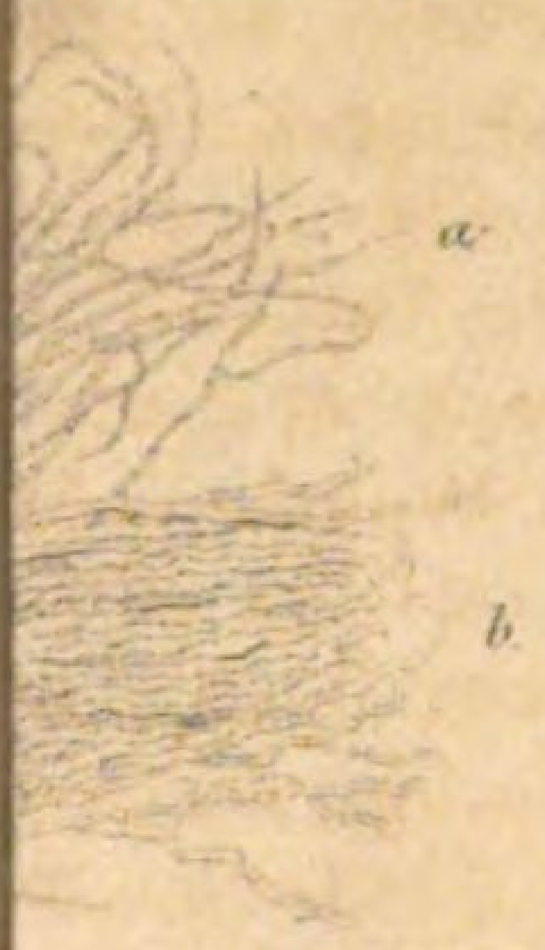
---

1) Frerichs, Wagner's Handw. der Phys. III. 1. p. 618.

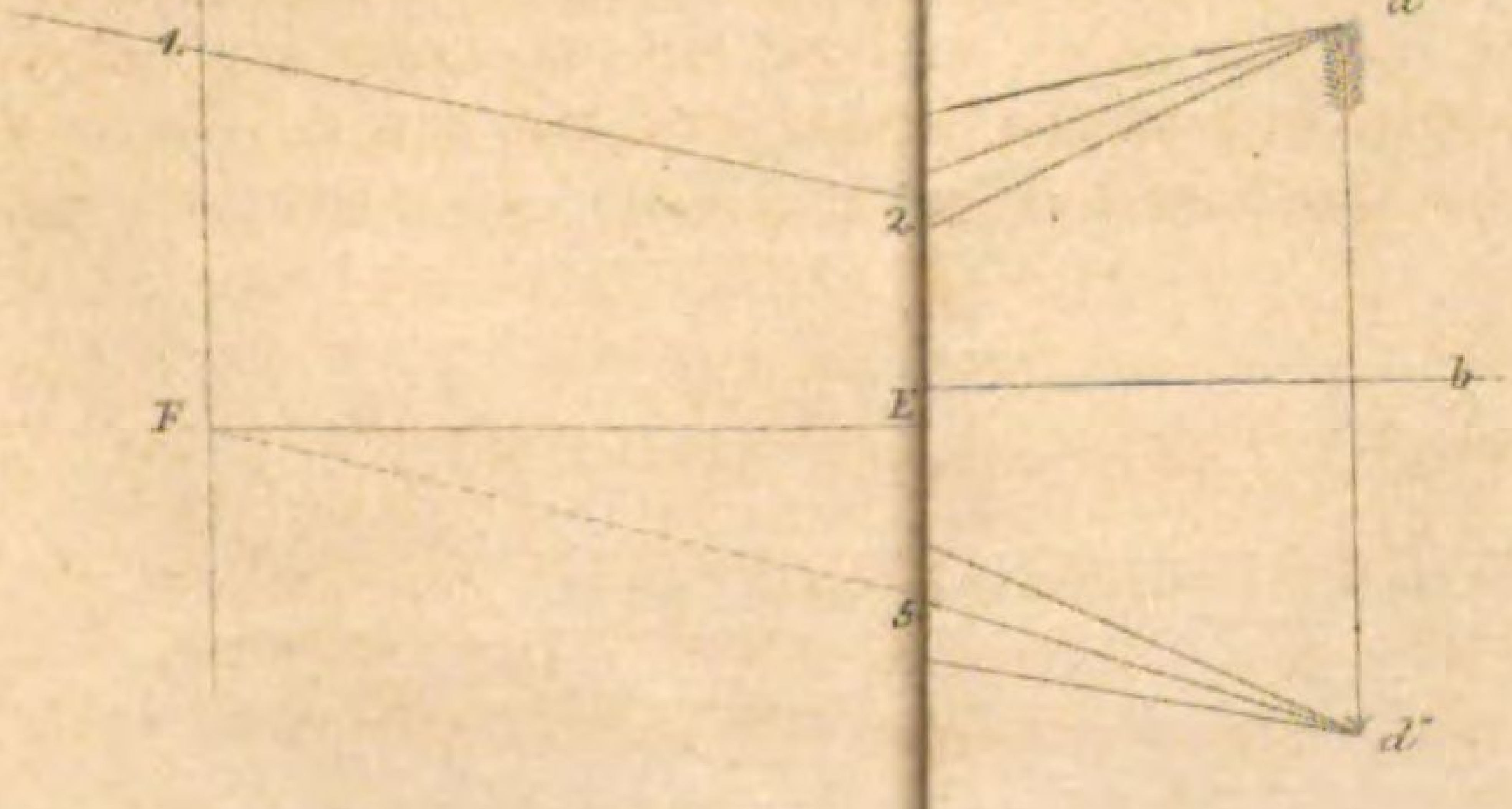
Tab III.

3.

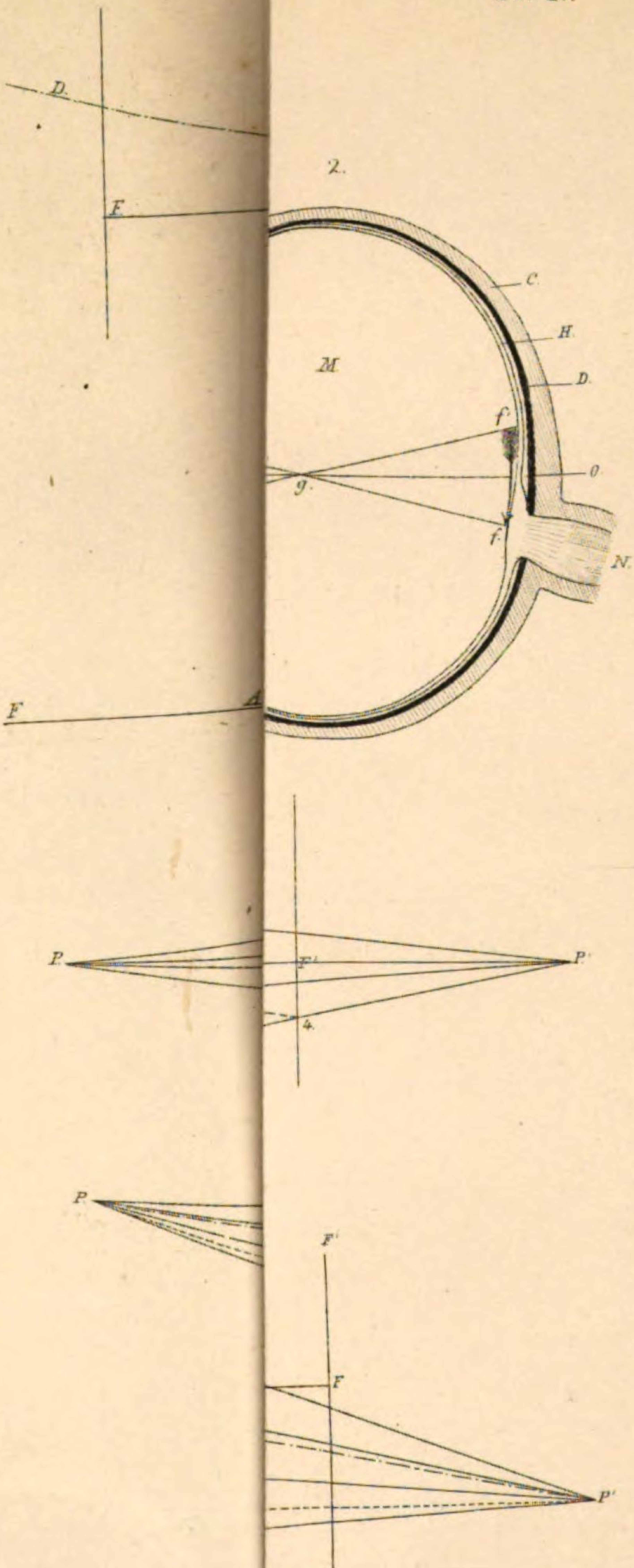




5.



Tab. IV.



BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Günther, August Friedrich

Lehrbuch der Physiologie des Menschen für Ärzte u. Studierende

Bd.: 2,2

Leipzig 1848

Anat. 192 ki-2,2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10368411-4